DIE NATURWISSENSCHAFTEN

23. Jahrgang | 12. April 1935 | Heft 15

Heliumlagerstätten.

Von Rudolf Wager, Freiburg i. Br.

Von den in der Erdrinde vorhandenen Stoffen sind die Vorkommen des Heliums seit etwa 15 bis 20 Jahren in die Reihe der „Lagerstätten" im technischen Sinn eingerückt. Erst der Weltkrieg, der ja auch sonst für mancherlei Rohstoffe eine praktische Verwertung öffnete, ließ die Bedeutung des Heliums für die Luftfahrt in den Vordergrund treten; damit war die Gewinnung und Verwertung von größeren Mengen dieses Edelgases eingeleitet und so kommt heute einer Betrachtung und Darstellung seiner Lagerstätten eine gewisse Bedeutung zu. Selbstredend knüpfen sich hier an die Heliumvorkommen all die allgemeinen Voraussetzungen, die praktisch mit dem Begriff einer Lagerstätte verbunden sind, wie etwa die den Durchschnitt wesentlich übersteigende Konzentration und die besonders von der Menge abhängige Bauwürdigkeit.

Damit ergeben sich Anknüpfungspunkte an die Erdgasvorkommen, die ja auch erst — von einigen Ausnahmen abgesehen — in den letzten Jahren einer weitergreifenden praktischen Nutzung zugeleitet wurden und dadurch schließlich eine Verbindung zu den Öllagerstätten, mit denen die Erdgasvorkommen ihrerseits im Regelfall vergesellschaftet sind. Sehr weitgehend läuft die Erforschung von Heliumlagerstätten der Exploration der Öl- und Gasvorkommen parallel.

Bekanntlich ist das Helium nur mit einem geringen Teil an dem Aufbau der Erdrinde beteiligt; sein Anteil an Lithosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre ist zu 0,42 millionstel Prozent errechnet worden. Seine Entdeckung erfolgte vergleichsweise spät: die erste Nachricht gab Lockyer, der ihm im Spektrum der Sonne eine Linie zuschrieb, die keinem der damals bekannten irdischen Stoffe entsprach (1868/70). Palmieri berichtete 1881 von der Anwesenheit des Helium in den vulkanischen Produkten des Vesuvs. Es folgte dann die Darstellung des Heliums aus Mineralien, in denen es occludiert war. Kayser gelang es 1895, Helium in den Thermalgasen von Wildbad im Schwarzwald nachzuweisen; damit war erstmals eine Stelle bekanntgeworden, an der Helium sich frei vorfindet und in die Atmosphäre verströmt. Vergleichsweise hohe Prozentsätze des Edelgases und große verfügbare Mengen davon wurden im Jahre 1903 von Cady und McFarland bei systematischer Untersuchung von Erdgasen in Dexter in Kansas aufgefunden. In den nächsten Jahren reiht sich hieran die Entdeckung in vielen derartigen mit Petroleum verknüpften Gasen und weiterhin in Gasen von Kohlengruben (Moureu) und Kalilagerstätten.

Mit diesem Abriß der Entdeckungsgeschichte des Heliums, in Mineralquellen, vulkanischen Gasen und schließlich in den mit Petroleum oder Kohle verknüpften Gasen, sind bereits die heute wichtigen *Typen* von Heliumlagerstätten umschrieben. Von ihnen erscheint als der wichtigste jener der mit Petroleum verbundenen Erdgase; dann folgen die Gase vulkanischer Herkunft und schließlich die Mineralquellgase. Das Helium in den Gasen der Kalilagerstätten (mindestens der deutschen) dürfte bei der allgemeinen Vergesellschaftung der Salze mit Bitumen dem erstgenannten Typ anzuschließen sein, dagegen ist die Stellung der Kohlengrubengase in dieser Hinsicht eine wenig klare.

Nach der üblichen Auffassung haben diese verschiedenen Typen von Lagerstätten die eigentliche Herkunft des Heliums gemeinsam. Ausgangsmaterial sind radioaktive Mineralien, jedoch weniger jene selteneren — z. B. Pechblende, Monazit —, aus denen vergleichsweise große Mengen Helium frei werden können, als jene häufigen, wie etwa Glimmer und Zirkon, die nur geringe Mengen Helium freiwerden lassen, dafür jedoch in großen Mengen vorkommen. Besonders von sauren Tiefengesteinen und deren Gangnachschüben geht so ein dauernder Heliumstrom aus. Je nach der Menge des freiwerdenden Gases und nach den Speicherungsbedingungen vermögen im Lauf geologischer Zeiträume Lagerstätten zu entstehen, die dann späterhin, nach natürlichem oder künstlichem Anschnitt, in die Atmosphäre verströmen.

Von wenigen Forschern (Salomon-Calvi 1931) wird seit einigen Jahren dieser Annahme einer „plutonistischen" Herkunft des Heliums die Möglichkeit einer „neptunistischen" Abstammung gegenübergestellt. Dies allerdings nur für manche Erdölgase, deren hoher Heliumgehalt auf eine primäre Speicherung von Uran und Radium in den später ölbildenden Organismen zurückgeführt wird.

Naturgemäß findet sich Helium in seinen natürlichen Vorkommen stets mit anderen Gasen vermischt. Es ist also bei einer Betrachtung von Heliumlagerstätten den begleitenden Gasen Beachtung zu schenken. Man kann hier zweckmäßig die anderen Edelgase und die gewöhnlichen Gase voneinander trennen. Was die letzteren anbetrifft, so ist besonders in der amerikanischen Literatur schon früh der Stickstoffgehalt in seiner Beziehung zum Heliumgehalt beachtet worden: meist geht hoher Heliumgehalt mit hohem Stickstoffgehalt parallel (Rogers 1921). Japanische und italienische

Autoren haben auf den hohen Kohlendioxydgehalt von heliumführenden Gasen ihrer Länder hingewiesen und eine dritte Gruppe von Gasen, die brennbaren Gase (praktisch: Wasserstoff, Methan, Äthan), ist naturgemäß ebenfalls fast immer beteiligt und dementsprechend schon früh festgestellt worden.

Stellt man einen Teil des Analysenmaterials im Konzentrationsdreieck dar, in bezug auf Kohlendioxyd, Stickstoff und brennbare Gase, so ist festzustellen, daß Gase von verschiedener Herkunft eine wesentlich verschiedene Zusammensetzung an diesen drei Gasen bzw. Gasgruppen offenbaren (Fig. 1). Mineralquellgase von deutscher, französischer, italienischer und japanischer Herkunft bestehen in den meisten Fällen fast ausschließlich aus Stickstoff; manche von französischer Herkunft weisen auch einen hohen Anteil an Kohlendioxyd auf. Die Kohlengrubengase — besonders von deutschen, französischen und japanischen Gruben sind Analysen veröffentlicht worden — bestehen naturgemäß zum größten Teil aus brennbaren Gasen; daneben beteiligen sich geringe Mengen Kohlendioxyd und Stickstoff an ihrer Zusammensetzung. Die heliumführenden Petroleumgase zeigen in der Darstellung eine weite Streuung: die Mehrzahl fällt in die Projektionsecke der brennbaren Gase; ein Teil besteht auch weitgehend aus Stickstoff und ein geringer Teil beteiligt auch größere Mengen von Kohlendioxyd an seiner Zusammensetzung. Ausgesprochen hohen Kohlendioxydgehalt zeigen die heliumführenden Soffionen und Solfataren italienischen und japanischen Ursprungs; sie bestehen zu 87—99% aus Kohlendioxyd.

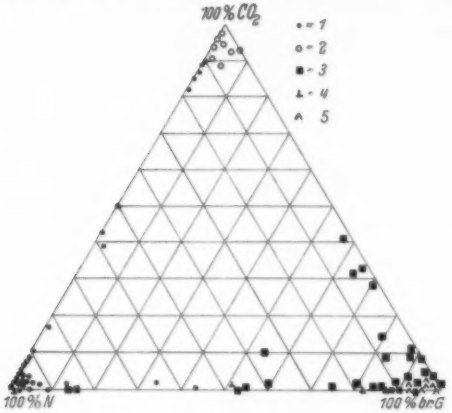


Fig. 1. *Darstellung von heliumführenden Gasen im Konzentrationsdreieck.* Es soll deren Zusammensetzung an den drei wichtigsten Gasen bzw. Gasgruppen: Stickstoff, Kohlendioxyd, brennbare Gase gezeigt werden. Mit der Signatur 1 sind Mineralquellgase von deutscher, französischer, italienischer und japanischer Herkunft dargestellt; mit der Signatur 2 italienische und japanische Soffionen (Gase vulkanischer Herkunft). Mit der Signatur 3 sind die besonders wichtigen Petroleumgase von amerikanischem und deutschem Ursprung angegeben, mit der Signatur 4 deutsche Kaligrubengase. Die Signatur 5 stellt Kohlengrubengase von deutscher, französischer und italienischer Herkunft dar.

Allgemein ergibt sich also bei einer derartigen Zusammenstellung des in der Literatur gebotenen Analysenmaterials, daß — rein beschreibend — verschiedene Typen der gewöhnlichen Begleitgase des Heliums festgestellt werden können. Der praktisch zweifellos wichtigste Typ ist jener des Stickstoffs, denn ihm gehören die ausbeutfähigen hochwertigen amerikanischen Ölgase an und weiterhin die zum Teil außerordentlich hochprozentigen französischen Mineralquellgase. Ein zweiter Typ entspricht dem Kohlendioxyd; hierher gehört ein kleiner Teil der Mineralquellgase und sämtliche Soffionen mit bisher bekanntgewordenem Heliumanteil. Der dritte Typ, jener der brennbaren Gase, ist naturgemäß durch Kohlengrubengase, jene der Kaligruben und schließlich durch einen großen Teil der Erdölgase vertreten.

Was die das Helium begleitenden Edelgase anbetrifft, so liegen in ihrer Anwesenheit und in ihrem gegenseitigen Verhältnis kaum Gesetzmäßigkeiten offen. Es ist jedoch zu bemerken, daß die Edelgase — von Helium abgesehen — in sehr vielen von den in der Literatur gegebenen Analysen überhaupt nicht bestimmt worden sind. Über den Argongehalt hat besonders MOUREU eingehende Untersuchungen angestellt. Bei den französischen Mineralquellgasen schwankt er in mäßigen Grenzen; stets ist er nicht allzu weit vom Argongehalt der Luft entfernt.

Für die Bildung nutzbarer Heliumlagerstätten gelten, wie bereits angedeutet, bestimmte allgemeine Voraussetzungen. Neben dem Vorhandensein radioaktiver Ausgangsmaterialien hat auch eine Ansammlung des daraus entstehenden Heliums zu erfolgen. Hier sind in erster Linie geeignete tektonische Verhältnisse notwendig: Antiklinen, Dome sind die für Erdöl- und Erdgasansammlung günstigen Strukturen. Die häufige Verknüpfung nutzbarer Heliummengen mit Öllagerstätten deutet jedoch darauf hin, daß vielleicht auch chemische Konzentrationsvorgänge bei den zur Heliumentstehung führenden Prozessen eine Rolle spielen. Besonders an die gute Löslichkeit von Radiumemanation in Erdöl mag hier gedacht werden. Außerdem müssen hier wie dort undurchlässige, den Abschluß nach oben gewährleistende Schichten vorhanden sein.

Diese allgemeinen Gesichtspunkte treten besonders bei den bisher bekannten, unter normalen Weltmarktsverhältnissen ausbeutbaren Lagerstätten des Heliums hervor. Diese finden sich alle in den Vereinigten Staaten; nur in diesen findet zur Zeit eine industrielle Gewinnung statt, und praktisch sind sie heute im Besitz eines Heliummonopols. Nur Kanada würde — sieht man vorläufig von den anders gelagerten Verhältnissen in Europa

ab — die geologischen Grundlagen für industrielle Heliumgewinnung besitzen.

Die nordamerikanischen Heliumlagerstätten sind mit Petroleumvorkommen und solchen zugehöriger Erdgase aufs engste verknüpft. Besonders trifft dies auf das wichtigste Heliumfeld der Vereinigten Staaten — es wird zur Zeit als einziges ausgebeutet — zu; es ist jenes des Bush Dome des Amarillo-Gasfeldes, Panhandle-District in Nordtexas (Fig. 2 u. 3). Das Amarillofeld muß

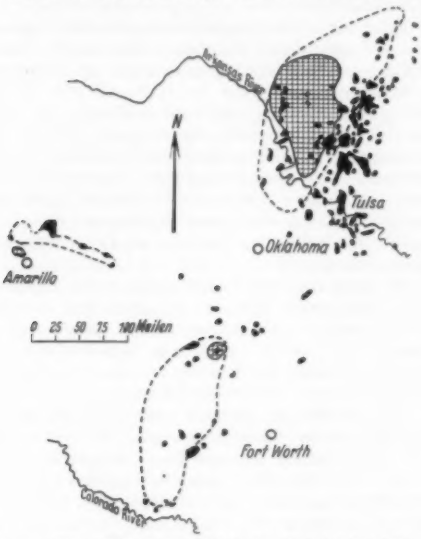


Fig. 2. *Die wichtigsten Gebiete der Vereinigten Staaten mit heliumhaltigen Erdgasen.* Nach ROGERS, RUEDEMANN u. a. Die ganz ausgezogenen und mit Kreuzschraffur versehenen Gebiete sind solche, in denen die Erdgasvorkommen mit mehr als 0,5% Helium liegen. Die gestrichelten Linien umreißen die Gebiete mit Erdgasfeldern mit mehr als 0,25% Helium. Schwarz sind die Öl- und Gasfelder selbst angegeben. Nur bei Amarillo entspricht die gestrichelte Linie einem großen Gasfeld, an dessen Rand einige schwarz angegebene Ölfelder liegen.

zu den bedeutendsten Gasfeldern der Erde gezählt werden. Der bisher nachgewiesene Umfang beträgt über 800 qkm. Der Gasdruck beläuft sich auf rund 30 atü. Von dem Gas, das aus etwa 85% Methan und Äthan besteht, weiterhin auch aus Stickstoff und Schwefelwasserstoff, werden durch Bohrungen bis zu 2,8 Millionen Kubikmeter Gas täglich je Sonde produziert. Helium tritt in erster Linie in dem kleineren Bush Dome auf, der durch eine bedeutende Verwerfung von dem eigentlichen Amarillo-Erdgaslager abgeschnitten ist. Hier besteht das Gas zu etwa $^1/_4$ aus Stickstoff und zu etwa $^3/_4$ aus brennbaren Gasen; der Gehalt an Helium beläuft sich auf rund 2%. Das ganze Gasfeld stellt eine etwa 160 km lange, ostwestlich streichende flache Aufwölbung dar; in den auf einen bestimmten geologischen Horizont bezogenen Streichkurven der Fig. 3 kommt diese Struktur deutlich zum Ausdruck. Das Gas findet sich vorwiegend in permischen Schichten. Den Kern des Gewölbes bildet ein aus metamorphen Gesteinen und Intrusiva, besonders sauren Graniten vorpermischen Alters, bestehender Grundgebirgsrücken. Von den amerikanischen Autoren wird das Helium auf Uranmineralien zurückgeführt, die im wesentlichen in Pegmatiten dieses Granites vorkommen. Die Gewinnungsanlage für dieses Vorkommen befindet sich in Amarillo; ihre Leistungsfähigkeit betrug im Jahre 1931 etwa 60000 cbm Helium im Monat. Der Reinheitsgrad wird mit 98% Helium angegeben.

Neben diesem Gasfeld, dessen Produktion auf Helium aufbereitet wird, haben die Vereinigten Staaten noch weitere Felder, die eine Produktion auch unter normalen Marktverhältnissen — also nicht etwa nur bei Berücksichtigung von Interessen der Landesverteidigung — ohne weiteres zuließen. Da die Erdgasfelder ganz allgemein gegenüber den Ölfeldern vergleichsweise nur kurzlebig sind, können diese anderen heliumführenden Gebiete ebenso

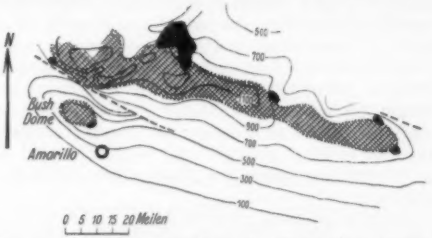


Fig. 3. *Spezielle Darstellung der Erdgaslagerstätte bei Amarillo im Panhandle District, Texas.* Hoch heliumhaltig ist das Gas des kleineren Bush Dome, der durch eine mit gestrichelter Linie angedeutete Verwerfung von dem Hauptgaslager getrennt ist. Die Linien und die zugehörigen Ziffern geben, in Fuß, die Höhenlage des hauptsächlich gasführenden Horizontes an. Schwarz sind die Petroleumfelder angegeben.

wie der Amarillo District später von neu entdeckten Feldern abgelöst werden. Trotzdem scheint es wünschenswert, sie kurz zu schildern. Zwei Gebiete, die auch in der Karte (Fig. 2) angedeutet sind, sind besonders bemerkenswert.

Das eine davon ist das Nord-Texas-Gebiet, das sich von der Nordgrenze Texas bis zum Kolorado hinzieht. In diesem Areal kam allerdings nur einem großen Feld, dem von Petrolea, größere Bedeutung zu. Das Gas dieses schon seit längerer Zeit durch Bohrungen gut abgetasteten Feldes kommt aus oberkarbonischen Schichten (oberes Pennsylvanian) in 500—600 m Tiefe; es enthält 0,9—1,0% Helium. Da von ROGERS die Lebensdauer des Feldes im Jahre 1921 nur noch auf wenige Jahre geschätzt wurde, dürfte es heute keine Bedeutung mehr haben. Aus diesem Gasfeld hatte jedoch die erste bedeutende Entwicklung der amerikanischen Heli-

umindustrie statt; aus ihm stammten die Heliummengen, die bei Beginn des Waffenstillstandes im Jahre 1918 zur Verwendung bereitlagen. Später können vielleicht Teile des Nord-Texas-Gebietes in der Heliumgewinnung wieder eine Rolle spielen.

Das zweite Gebiet ist die Mid-Continent-Region. In dieses ausgedehnte Öl- und Gasgebiet fallen eine ganze Anzahl Gasfelder mit erheblichem Heliumgehalt. Diese produzieren vorwiegend aus Schichten des oberen und mittleren Pennsylvanian. An einzelnen Feldern wären vielleicht zu nennen: das Elmdalefeld mit einem um 0,5% schwankenden Heliumgehalt, das Eldoradofeld mit einem solchen von etwa 1%, das Augustafeld, in dem in Teilfeldern der Heliumgehalt 2,04, 1,09 und 0,43% betrug. Weiter sind hier noch wichtig der Dexter-Otto-District und der Sedan-District. Auch verschiedene weitere Distrikte und Felder haben einen Heliumanteil in ihrer Förderung.

Von den anderen Staaten des amerikanischen Kontinents verfügt Kanada nach den bisher veröffentlichten Untersuchungen über große Mengen Erdgas mit beachtlichem Heliumanteil. Aus Südamerika liegen beispielsweise aus Argentinien Untersuchungen vor, die jedoch nur Anteile bis zu 0,03% Helium ergaben (CORTI 1930).

In Japan wurden viele Erdgase und Mineralquellgase einer Prüfung auf etwa vorhandenes Helium hin unterzogen. Dabei fand sich, daß sein Anteil nie über 0,28% steigt; der durchschnittliche Wert ist weitaus geringer und weiterhin sind die zur Verfügung stehenden Gasmengen nicht sehr bedeutend.

Ähnlich wie es sich hier in Japan nicht mehr um technisch nutzbare Lagerstätten handelt, sind auch die bisher in Europa vorgefundenen heliumführenden Gase unter normalen Marktverhältnissen keiner Aufbereitung mehr zuzuführen. Die Vorkommen seien im folgenden kurz aufgezählt.

Frankreich hat, insbesondere während des Weltkrieges, seine Mineralquellgase auf Helium untersucht. Bei den über 100 untersuchten Gasproben (MOUREU) ergaben sich zum Teil recht erhebliche Prozentzahlen. Rund ein Drittel hat mehr als 0,2% und einige Mineralquellgase von Santenay ergaben die einzig dastehenden Werte von über 10% Helium am Gesamtgasgehalt. Jedoch bei all diesen Vorkommen ist die Gasschüttung eine nur geringe, so daß sie kaum je die Grundlage für eine industrielle Gewinnung abgeben dürften. Anders liegen die Verhältnisse bei französischen Kohlengrubengasen. Der Heliumanteil geht zwar nur bis etwa 0,05%; die Menge Helium ist jedoch z. B. bei der Grube Anzin zu rund 4500 qbm im Jahr errechnet worden.

Auch in Italien sind Untersuchungen auf Helium vorgenommen worden. Da Italien ebensowenig wie Frankreich bisher erheblichere Mengen von Erdölgasen zur Verfügung hat, erfassen diese Untersuchungen die Mineralquellgase sowie die großen Gasmengen, die bei vulkanischer Tätigkeit der Erde entströmen. Obwohl in allen Fällen die Heliumprozentzahlen bei weitem nicht den amerikanischen Durchschnittswert erreichen, wurden doch gegen Ende des Weltkrieges Anlagen zur Gewinnung von Helium aus den Soffionen von Toskana errichtet. Das dort in großen Mengen zur Verfügung stehende Gas besteht aus Wasserdampf, Kohlendioxyd und einem Gasrest, der 0,26% Helium hat (PORLEZZA 1920). Nach Eintritt des Waffenstillstandes im Jahr 1918 gelangten diese Anlagen nicht mehr zur Inbetriebnahme.

In verschiedenen anderen europäischen Staaten, etwa in England und Rumänien, ergaben die Untersuchungen ebenfalls Heliumspuren in Erdgasen. In Rumänien sind zwar die Heliumanteile in den Erdölgasen so gering, daß eine Aufbereitung nicht rentabel wäre; immerhin wäre es bei der Bedeutung der rumänischen Erdgasindustrie denkbar, daß in Zukunft auch höherprozentige Vorkommen erschlossen werden könnten. Ähnliches dürfte für Rußland gelten, wo bisher überhaupt wohl nur wenige der Erdgasvorkommen in dieser Hinsicht untersucht sind.

Es seien nun die Vorkommen in Deutschland etwas näher geschildert. Untersuchungen über den Heliumgehalt von Erdgasen sind bisher nur in mäßiger Zahl veröffentlicht; sie beziehen sich auf Mineralquellgase, auf Erdölgase, Gase aus Kohlengruben und aus Kalibergwerken.

Was die Mineralquellgase anbetrifft, so ist auf die historische Bedeutung von Wildbad (mit 0,71% He) schon hingewiesen worden. Viele weitere der deutschen Bäder wären hier ebenfalls anzuführen, so etwa Baden-Baden mit 0,85%, Bad Dürkheim mit 1,8%, Bad Künzig mit 0,3% und Heidelberg mit 0,65% Helium. Sind nun diese Heliumanteile vergleichsweise hoch, so sind jedoch die geschütteten Gasmengen zu gering für eine Nutzung. In Heidelberg ließ sich kurz nach der Erbohrung die jährlich entströmende Heliummenge auf etwa 250 cbm berechnen; bei den anderen Vorkommen dürfte sie meist noch geringer sein.

Von den Erdgasen der üblicherweise unterschiedenen vier deutschen Erdölprovinzen: norddeutsche Ölprovinz, Rheinebene zwischen Basel und Mainz, Thüringen und schwäbisch-bayerische Hochebene, sind Gase aus den zuerst angeführten drei Provinzen[1] auf Helium untersucht worden.

Aus der Rheinebene liegen aus dem Pechelbronner Ölfeld im Elsaß Bestimmungen vor. Meist waren die dabei festgestellten Werte gering; in einer Bohrung wurden jedoch im Jahre 1913 0,38%, später nach MOUREU (1923) sogar 1,09% Helium festgestellt. Zum Teil handelt es sich hier offenbar um Gase, die eher den Mineralquellgasen als den Ölgasen zuzureihen wären. Die entströmenden Gasmengen waren nicht erheblich. Über etwaige Untersuchungsergebnisse von Erdgasen, die in

[1] Bei den von ANGERER und FUNK untersuchten niederbayerischen Gasen ist die Herkunft nicht eindeutig angegeben.

badischen und pfälzischen Teilen der Rheinebene erbohrt worden sind, ist öffentlich nichts bekanntgeworden. Auf jeden Fall zeigen die Ergebnisse von Pechelbronn, daß in der Rheinebene die Möglichkeit bestehen könnte, weitere heliumhaltige Erdgase in tertiären und vielleicht auch in mesozoischen Schichten zu erschließen.

In Thüringen ergaben die Erdgase, die sich zusammen mit Öl im Zechstein von Volkenroda erschließen ließen, einen Heliumanteil von 0,088%. Es handelt sich dabei um recht erhebliche Gasmengen. Bei Berücksichtigung der normalen Marktverhältnisse dürfte jedoch auch diese Lagerstätte keiner Aufbereitung auf Helium zuzuführen sein.

Aus Norddeutschland liegt ein größeres Material an Bestimmungen vor. Die bekannte Gasausströmung von Neuengamme bei Hamburg ergab 0,016% Helium. Die Ergiebigkeit wäre unter den Verhältnissen der Jahre 1925—1926 auf rund $^1/_2$ cbm Helium täglich anzusetzen. Eine Bohrung bei Oldershausen (Winsen a. L.) ergab einen Heliumanteil von 0,011% in den Gasen. Eine Bohrung in Gramzow (Uckermark) ließ etwa 0,1% Helium bei einer täglichen Ausströmung von 10 cbm dieses Edelgases feststellen. Von Oberg geben zwei Bestimmungen 0,006 und 0,002% Helium an, bei nicht erheblich zu nennender Schüttung. Der letztere Wert ergab sich auch bei Bestimmungen in dem Ölfeld von Nienhagen bei Hannover. Erdgase aus dem Ölfeld von Heide in Holstein ergaben nur 0,001% Helium. Es läßt sich aus diesen, wie auch den weiteren in der Literatur gegebenen Werten wenig Gesetzmäßiges herauslesen. Insbesondere scheint es nicht möglich, zu verfolgen, ob die tieferen Horizonten — etwa dem Perm — entströmenden Gase größere Neigung zu Reichtum an Helium haben, als die den jüngeren Formationen — wie Jura oder Kreide — entströmenden. Es wäre dies insofern interessant, als aus der Tatsache, daß alle amerikanischen heliumreichen Ölgase sich in paläozoischen Schichten finden, gefolgert wurde, daß dies eben in der längeren Zeit seine Ursache habe, die zum Auffangen des in den Schichten unterhalb des Gaslagers sich dauernd bildenden Heliums zur Verfügung steht.

Über die im Anschluß an vulkanische Tätigkeit, beispielsweise in der Eifel und der Schwäbischen Alb, entströmenden Gase, die auch in Deutschland — wie die italienischen Bestimmungen zeigen — einer Beachtung wert wären, sind bisher keine auf Helium bezüglichen Untersuchungen bekanntgeworden.

Bemerkenswert erscheinen die bisherigen Untersuchungsergebnisse über Helium in Kohlengrubengasen.

Nach MOUREU (1923) weisen schlagende Wetter von Frankenholz (Pfalz) — auf luftfreies Gas bezogen — einen Heliumanteil von 0,027% auf, bei einer jährlichen Schüttung dieses Edelgases von rund 3500 cbm. PANETH, GEHLEN und PETERS geben Werte eines Bläsers — an der Erdoberfläche in einem Bachbett entströmend — und von schlagenden Wettern von Ahlen in Westfalen, die etwa 0,1—0,2% Heliumgehalt im Gesamtgas erkennen lassen. Die täglich aus dem Bläser entströmende Heliummenge wurde für Ende 1926 zu 0,08 cbm errechnet. Ein im Jahre 1904 erschlossenes Erdgasvorkommen bei Ascheberg in Westfalen hat einen Heliumanteil von 0,076%. Die Analyse der Gase eines Bläsers aus einer Sohle der Grube Obernkirchen ergab 0,049% des Edelgases. Die Gasmengen dieser zuletzt genannten Vorkommen sind nur gering. Diese Heliumvorkommen sind zum Teil einerseits in ihrer Konzentration und Menge an sich beachtlich, zum andern geben sie tatsächlich der vorhin erwähnten Auffassung eine gewisse Stütze, daß Gase aus Schichten von höherem Alter einen höheren Heliumgehalt erwarten lassen. Auf der andern Seite ist jedoch die Rolle der Kohle selbst in diesem Zusammenhang noch nicht klar, da einmal erheblichere Heliumgehalte in den in der Kohle eingeschlossenen Gasen festgestellt wurden und weiterhin auch beispielsweise in dem schwedischen Kolm ein bogheadkohlenartiges Material mit bedeutendem Urangehalt bekannt ist.

Wichtigste Literatur:

E. v. ANGERER u. H. FUNK, Untersuchung von Erdgasen auf Heliumgehalt. Z. physik. Chem. B **20** (1933). — H. P. CADY u. D. F. Mc FARLAND, The occurence of Helium in natural gas and the composition of natural gas. J. amer. chem. Soc. **29** (1907). — H. CORTI, F. PARODI, J. S. ÚBEDA, El Helio en los Gases petrolíferos de distintos Yacimientos Argentinos. Dir. Gen. Minas, Geol., Hidr. **90** (1930). — F. FISCHER, K. PETERS u. A. WARNECKE, Über die in den Kohlen eingeschlossenen Gase. Brennstoff-Chemie **13** (1932). — W. KAUEN-HOWEN, Heliumgewinnung in den Vereinigten Staaten und ihre Aussichten in Deutschland. Kali **26** (1932). — CH. MOUREU, Les Gaz Rares des Gaz Naturels. J. chem. Soc. (Lond.) **123** (1923). — F. PANETH, H. GEHLEN u. K. PETERS, Heliumuntersuchungen IV. Über den Heliumgehalt von Erdgasen. Z. anorg. u. allg. Chem. **175** (1928). — G. PORLEZZA, L'ottenimento industriale dell'elio. Giorn. Chim. ind. appl. **1920**. — SH. ROGERS, Helium-bearing Natural Gas. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper **121** (1921). — P. RUEDEMANN u. L. M. OLES, Helium, its probable origin and concentration in the Amarillo Field. Bull. Assoc. Amer. Petroleum Geologist **13** (1929). — W. SALOMON-CALVI, Radium-reiche Erdölsolen und das Problem der Herkunft ihres Radiums. Sitzgsber. Heidelberg. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl. **1931**.

Zur Frage der Unipolarinduktion.

Von L. FLEISCHMANN, Berlin.

In der elektrotechnischen Literatur[1] ist in der letzten Zeit wieder ein Meinungsstreit über die Erklärung der Unipolarinduktion und im Zusammenhang damit über die physikalische Realität der Kraftlinien entstanden. Da auch in den „NATURWISSENSCHAFTEN"[2] früher eine Veröffentlichung hierüber erschienen ist, so soll hier nochmals kurz darüber berichtet werden.

Die Erscheinungen der unipolaren Induktion lassen sich alle auf das Schema des klassischen Versuches von FARADAY zurückführen. Bei diesem kann ein zylindrischer Magnet (Fig. 1*a*) um seine Achse in Rotation versetzt werden. An zwei unsymmetrisch zur Mittelfläche des Zylinders gelegenen Punkten des Zylindermantels liegen Schleif-

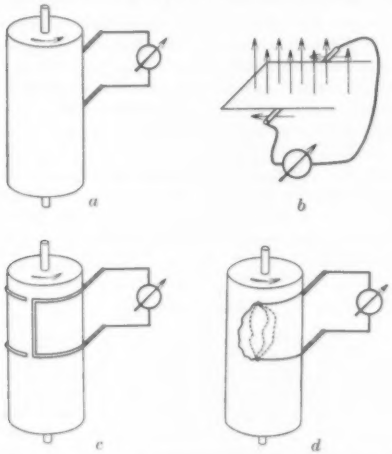


Fig. 1 *a—d*. Zur Erläuterung des FARADAYschen Versuches zur Unipolarinduktion.

federn, die mit einem Strommeßinstrument verbunden sind. Rotiert der Magnet mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so erhält man in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Drehsinn einen Ausschlag des Meßinstrumentes in der einen oder anderen Richtung. Die Schwierigkeit, diesen Versuch mit dem Induktionsgesetz in Einklang zu bringen, liegt in folgendem: Das Induktionsgesetz für eine Windung lautet: die in einer Windung induzierte EMK. ist gleich der negativ genommenen Änderung des magnetischen Flusses in der Zeiteinheit, der eine von der Windung begrenzte Fläche durchsetzt. Diese Aussage verknüpft drei durch Meßinstrumente feststellbare Größen, sie sagt aber im engeren Sinne nichts mehr über den Mechanismus des Induktionsvorganges aus. Sie bezieht sich in der vorstehend gegebenen Form zunächst nur auf eine Windung, die mit der Zeit ihre Form nicht verändert. Was die zeitliche Flußänderung anbelangt, so ist es gleichültig, ob diese dadurch zustande kommt, daß die Windung in bezug auf den Raum ruht und der Fluß sich mit der Zeit ändert, oder der Fluß zeitlich konstant aber in verschiedenen Teilen des Raumes auf die Windungsfläche bezogen, verschiedene Größe hat und die Windung selbst im Raume sich irgendwie bewegt. Auch eine dritte Möglichkeit wird noch von der Aussage umfaßt, nämlich der Fall der zeitlichen und örtlichen Verschiedenheit des Flusses und der Bewegung der Windung im Raum. In allen diesen Fällen genügt es, in den einzelnen Zeitpunkten den Unterschied der Größe des Flusses festzustellen, der die Windungsfläche durchsetzt, und durch die Zeitdifferenz zu dividieren. Je enger man die Aufeinanderfolge der Zeitpunkte wählt, um so näher kommt man zahlenmäßig der Größe der EMK.

Die Erfahrung ergibt, daß die Aussage des Induktionsgesetzes auch noch zutrifft, wenn sich die Begrenzungslinie der Windung mit der Zeit verändert. Auch in diesem Falle braucht man nur den Unterschied der Größe des Flusses festzustellen, der in den einzelnen Zeitpunkten die (jetzt veränderliche) Windungsfläche durchsetzt und durch die Zeitdifferenz zu dividieren, und auch hier gibt wieder der Übergang zur Grenze die EMK. Die einfachste Anordnung, um das zu zeigen, ist ein U-förmig gebogener Draht (Fig. 1*b*), der sich in einem stationären magnetischen Felde befindet, und auf dessen beiden Schenkeln zwei Bürsten schleifen, die mit den Klemmen einer Strommeßvorrichtung verbunden sind. Durch Verschiebung der Drahtenden längs des Bügels führen wir eine Veränderung der Größe des Flusses herbei, der die Windung durchsetzt.

Um den Zusammenhang dieser Anordnung mit der FARADAYschen Versuchsanordnung klarer hervortreten zu lassen, wollen wir an der in Fig. 1*a* gezeigten Vorrichtung noch eine kleine Zufügung machen. Wir denken uns auf der Mantelfläche des Magneten einen U-förmigen Bügel angebracht, der sich, wie in der Fig. 1*c* gezeigt, der Mantelfläche anschmiegt. Der leitende Bügel sei vom Magneten elektrisch isoliert. Auf den beiden freien Schenkeln lassen wir die Federn schleifen, die wieder durch Drähte mit den Klemmen des Strommessers verbunden seien. Rotiert der Magnet, so ändert sich genau wie bei dem vorgehend beschriebenen Versuch der von der Windung umschlossene Fluß. Lassen wir die beiden U-Schenkel den Zylindermantel ganz umschließen, so erhalten wir eine

[1] Siehe die Aufsätze in „The Electrician": CRAMP, 20. Oktober 1933, HARGREAVE, 3. November 1933, HOWE, 14. September 1934, GARARD, 21. September 1934, HOWE, 28. September 1934, HARGREAVE, 21. September 1934; ferner EMDE, Elektrotechnik und Maschinenbau, 14. Oktober 1934.

[2] BECKER, Naturwiss. **29**, 917 (1932).

kontinuierlich arbeitende Anordnung, bei der es nicht schwierig ist, die Größe der augenblicklichen Flußänderung festzustellen.

Nun gehen wir einen Schritt weiter und lassen die Isolation zwischen den U-Schenkeln und dem Magneten fortfallen; auch jetzt tritt keine Änderung in der Größe der EMK. ein. Lassen wir weiter jetzt das U-Stück gänzlich weg, so erhebt sich die Frage, was nun als veränderliche Windung zu betrachten sei. Aber diese Frage ist schon durch den vorhergehenden Versuch beantwortet. Dadurch, daß man die U-Schleifstücke mit dem Magneten in leitende Verbindung brachte, ist die Windungsbegrenzung einmal durch die Berührungspunkte der Schleiffedern auf dem Magneten, dann weiter durch eine feste Linie zwischen den Berührungspunkten der Schleiffedern zu Beginn der Zeitzählung und ferner durch die Verbindungsdrähte und das Meßinstrument selbst gegeben. Es ist hierbei ganz gleichgültig, welche Form man der auf dem Magneten gezogenen festen Linie zwischen den Anfangsberührungspunkten gibt (Fig. 1 *d*), da es ja nur auf die Zu- oder Abnahme des Flusses ankommt, und durch die Lage der Anfangslinie nur ein fester Anteil des Flusses bestimmt wird, der bei der Differenzbildung doch herausfällt. Daß man als weiteren Teil der Windung die Berührungskurve der Schleiffedern nimmt, kann man, wenn man will, zunächst als versuchsweise erfolgt betrachten. Aber man muß sich auch vor Augen halten, daß dieses die einzigen Linien sind, die vor den unendlich vielen anderen, die man auf dem Magneten ziehen könnte, bevorzugt sind. Des weiteren kommt hinzu, daß die so definierte Windungsbegrenzung und die aus dieser sich ergebende EMK. in Übereinstimmung steht mit der aus der sog. Schneidetheorie der Kraftlinien errechneten EMK.

Betrachten wir den in der Umgebung unseres zylindrischen Magneten herrschenden magnetischen Zustand, so ist dieser in jedem Punkt charakterisiert durch den Vektor der dort herrschenden magnetischen Induktion $\mathfrak{B}$. Ist der Magnet nicht axial-symmetrisch, so hat $\mathfrak{B}$ auf einem Breitenkreis nicht überall denselben Wert, und bei einer Rotation des Magneten gegenüber einem festen Punkt des Raumes wird die Induktion einen mit der Zeit veränderlichen Wert zeigen. Konstruiert man die Kraftlinien nach der Vorschrift, daß die Tangenten der Kurven jeweils die Richtung des Vektors der Induktion haben sollen, so werden diese Linien, wenn man sie zur Unterscheidung mit *a*, *b*, *c* bezeichnet, bei einer Rotation des Magneten zu verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Lagen im Raume einnehmen (Fig. 2 *a* und *b*). Dasselbe tritt natürlich auch ein, wenn der Magnet axial-symmetrisch ist. Obgleich alle Kraftlinien denselben Verlauf nehmen und voneinander nicht unterscheidbar sind, kann man durch einen Grenzübergang sich klar machen, daß auch in diesem Fall die Kraftlinien (als rein geometrische Kurven betrachtet) mit dem Magneten rotieren. Dies ist in genau demselben Sinne zu verstehen wie die Aussage, daß die Erdmeridiane an der Rotation der Erde teilnehmen. Die Betrachtung gilt aber nur für einen Außenraum von überall gleicher Permeabilität. Besitzt der Außenraum örtlich veränderliche Permeabilität, so gilt die bisherige Betrachtung nicht mehr. Denn es bleibt wohl,

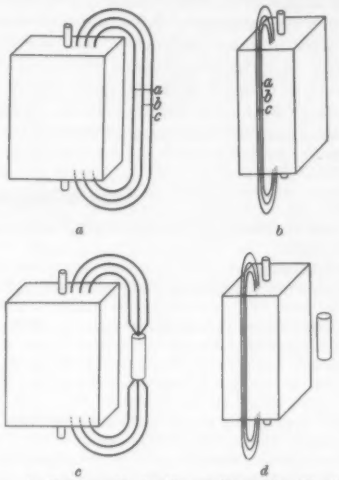


Fig. 2 *a*—*d*. Schematische Darstellung des Kraftlinienverlaufs bei Rotation eines prismatischen Magneten.

vom festen Raum aus betrachtet, der Verlauf der Kraftlinien immer der gleiche, aber vom bewegten Magnet aus betrachtet verändert sich die Anordnung der Kraftlinien. Sie drängen sich an den Stellen höherer Permeabilität zusammen, verändern bei der Rotation also ihre Gestalt (Fig. 2 *c* und *d*).

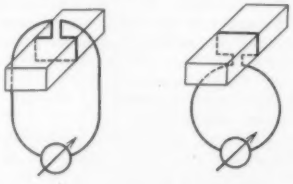


Fig. 3 *a* u. *b*. Erläuterung zum HERINGschen Versuch.

Es verliert daher jetzt die Aussage, daß die Kraftlinien mit dem Magnet rotieren, ohne eine weitere Bestimmung, wie man die Gleichheit der verschiedenen Kraftlinien feststellen kann, jeden Sinn. Im folgenden soll nur ein Außenraum konstanter Permeabilität betrachtet werden. In einem solchen sagt die Schneidetheorie nun aus, daß die in einem Leiter induzierte EMK. proportional ist der von diesem Leiter in der Zeiteinheit geschnittenen Kraftlinienzahl. Wie ein Vergleich mit der Fig. 1 *b* zeigt, ist tatsächlich die Anzahl der geschnittenen

Kraftlinien gleich dem Zuwachs an Fluß in der Fläche, wie sie vorher definiert worden ist.

Diese Definition der Umgrenzung führt auch in anderen Fällen als denen der unipolaren Induktion zu richtigen Ergebnissen. Vor einigen Jahren wurde als angeblicher Widerspruch gegen das FARADAYsche Induktionsgesetz der folgende Versuch angeführt[1]. Die Zuführung zu den Klemmen eines Strommessers liegen nebeneinander auf der Fläche *a* eines Magneten; sie werden nun schleifend in entgegengesetzter Richtung um die Flächen *a*, *b*, *c* und *d* herumgeführt, bis sie wieder in einem Punkt auf der Fläche *d* zusammentreffen (Fig. 3*a* und *b*). Die Überlegung war die, daß die Windung, gebildet durch die Zuleitungsdrähte in der Stellung *I*, den vollen Fluß des Magneten umfaßt, während in der Endstellung kein Fluß umfaßt wird; es sollte infolgedessen im Strommesser ein Ausschlag beobachtbar sein, während tatsächlich keine Wirkung auftrat. Der Widerspruch klärt sich sofort auf, wenn wir die Bahn der schleifenden Enden mit zu der Umgrenzung der Fläche rechnen, denn in diesem Falle bleibt der die Fläche durchsetzende Fluß konstant, und es kann keine EMK. auftreten[1].

[1] CARL HERING, Proc. of Am. Inst. of. El. Eng. **1908**, 342.

[1] Nach Drucklegung erschien noch der Aufsatz: HOWE, Electromagnetic Induction, The Electrician, Jan. 4, **1935**, p. 5.

Das biologische Krakatauproblem[1].

Der reiche Inhalt des ERNSTschen Buches gliedert sich wie folgt:

1. Einleitung.
2. Krakatau vor und nach der großen Eruption von 1883.
3. Exkursionen und Expeditionen zur Erforschung der neuen Flora und Fauna von 1886—1929.
4. Bericht über den Besuch der Krakatau-Inselgruppe durch den Verfasser (27. Februar bis 3. März 1931).
5. Die Ergebnisse der floristischen Durchforschung der Krakatau-Inseln von 1886—1931.
6. Die Ergebnisse der faunistischen Durchforschung der Krakatau-Inseln von 1908—1929.
7. Die Herkunft der neuen Floren- und Faunenelemente.
8. Haben Relikte der alten Flora und Fauna die Eruption von 1883 überdauert und Anteil an der Wiederbesiedelung der Krakatau-Inseln? (Darunter ein umfangreiches Kapitel über den Besiedelungsverlauf nach teilweiser oder vollständiger Vernichtung der Vegetation in anderen vulkanischen Gebieten und Betrachtung der Reliktenfrage und Wiederbesiedelung im Lichte dieser Erfahrungen.)
9. Die Pflanzen- und Tiergesellschaften der neuen Flora und Fauna von Krakatau. (Darunter Kapitel über Entstehung und Sukzessionen der Pflanzengesellschaften, Saprophytismus und Parasitismus, Tiergesellschaften, Endemismenfrage.)
10. Rückblick und Ausblick.
11. Literaturverzeichnis.

Die im Sundameer zwischen Java und Sumatra gelegene Vulkaninsel Krakatau wurde durch den gewaltigen Ausbruch ihres Vulkans vom 26. bis 28. August 1883 nebst zwei benachbarten Inseln ihrer ganzen Lebewelt beraubt. Die Inseln boten damit Gelegenheit zum direkten Studium des Verlaufs der Neubesiedelung. „Die Wiederbesiedelung der Krakatau-Insel mit Pflanzen und Tieren bedeutet ein Naturexperiment größten Stils." Über den Verlauf dieses Experiments und die zahlreichen Studien darüber eine vollständige Übersicht gegeben zu haben, ist das große Verdienst des Pflanzenphysiologen ALFRED ERNST, Zürich[1]. Er hat selbst Krakatau zweimal besucht; 1906, und 25 Jahre nachher, 1931; mit seiner Gemahlin und wissenschaftlichen Mitarbeiterin Frau Dr. ERNST-SCHWARZENBACH.

Das vorliegende Buch — und andere früher über dasselbe und verwandte Themata erschienene Publikationen ERNSTS[1] — sind ein höchst erfreulicher Beweis dafür, daß auch ein erfolgreicher Physiologe, Cytologe und Genetiker sich ein tiefgründiges Verständnis für biogeographische Probleme bewahren kann. Er sagt selbst sehr bescheiden: „Mit voller Unbefangenheit — völlig unbelastet mit floristischen und pflanzengeographischen Detailkenntnissen, werden einzelne Leser vielleicht urteilen — aber mit einer aus zeitlicher Distanz und anderweitig gesammelten wissenschaftlichen Erfahrungen erwachsenen Objektivität komme ich nochmals auf das Besiedelungsproblem zurück . . ."

Diese Objektivität, verbunden mit weitgreifender Umsicht und vorsichtiger Abwägung von Für und Wider, bedingen den hohen Wert des Buches.

Es wird zunächst Krakatau *vor* der Eruption von 1883 und die geologische Geschichte dieser Inselgruppe (Krakatau oder Rakata, Lang Eiland und Verlaten Eiland) nach VERBEEK (1885) und STEEN (1929) geschildert, und die wenigen Angaben über Flora und Fauna vor 1883 erwähnt.

Die Vernichtung von Flora und Fauna auf Krakatau August 1883 wird nach den Beobachtungen von VERBEEK geschildert, der 2 Monate nach der Eruption die Inselgruppe untersuchte: VERBEEK konstatierte ungeheure Veränderungen: „Die kleine Insel ‚Poolsche Hoed', ein Stück von Lang Eiland, sowie $^2/_3$ der Hauptinsel mit einer Fläche von 22,85 qkm waren versunken. Die Bruchfläche ging mitten durch den „Rakata" (den

[1] ALFRED ERNST, Das biologische Krakatauproblem. Beiheft Nr. 4 zum Jahrgang 1934 der Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. Aus: Ergebnisse der mit Subventionen der *Julius Klaus-Stiftung* für Vererbungsforschung, Sozialanthropologie und Rassenhygiene, und der *Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich* von Prof. Dr. ALFRED ERNST und Frau Dr. MARTHE ERNST-SCHWARZENBACH ausgeführten indomalaiischen Forschungsreise (28. Juli 1930 bis 16. April 1931). 187 S., 2 Kartenskizzen, 3 Abbildungen im Text und 8 Tafeln mit 21 Landschafts- und Vegetationsbildern (meist nach eigenen Aufnahmen). 17 cm × 24 cm.

[1] Die neue Flora der Vulkaninsel Krakatau. Vjschr. naturforsch. Ges. Zürich **1901**. Dasselbe ins Englische übersetzt durch Prof. SEWARD. Cambridge 1908. Die Besiedelung vulkanischen Bodens auf Java und Sumatra: IV. Die Besiedelung neuer Aschen-, Lapilli- und Lava-Felder nach großen vulkanischen Ausbrüchen. V. Die neue Flora und Vegetation der Vulkaninsel Krakatau — „Vegetationsbilder", herausgegeben von KARSTEN und SCHENK. 7. Reihe, Heft 1 u. 2. Jena 1909.

Vulkan auf Krakatau), dessen höchster Punkt (813 m ü. M.) erhalten geblieben war ... Die 3 Inseln sind von Bimsstein und Aschenmassen überdeckt worden, welche auf Verlaten Eiland eine Höhe von 100 m, auf Lang Eiland ± 45 m erreichten. Auf Krakatau selbst betrug die Mächtigkeit der Schichten in den untersten Zonen 60 m und mehr, an den Bergabhängen soll sie stellenweise nur 1—2 m betragen haben." ... „*Völlige Vernichtung alles Lebens* war der allgemeine Eindruck, den die verwüstete Inselgruppe in den ersten Monaten nach dem die ganze Welt erschütternden Ereignis auf alle Besucher machte, denen die seltene Gelegenheit geboten war, Krakatau zu besuchen."

Und nun die Beobachtungen über die Flora: Ernst macht mit Recht auf die Schwierigkeiten des Besuches von Krakatau aufmerksam, die eine regelmäßige Untersuchung erst von 1919 an möglich machte, namentlich durch die Bemühungen von Dr. Docters van Leeuwen, dem damaligen Direktor des Botanischen Gartens in Buitenzorg, dessen große Verdienste um das Problem Ernst warm hervorhebt.

Zählen wir die Besuche chronologisch auf:

1883: Der Geologe Verbeek fand 2 Monate nach der Eruption bei seiner Begehung der Insel, die ihn bis auf die Spitze des Rakata führte, keine einzige Pflanze.

1884: Der Zoologe Cotteau fand 9 Monate nach dem Ausbruch auf allen 3 Inseln keine Spuren *tierischen* Lebens, „außer einer kleinen Spinne, die ruhig ihr Netz spann".

1886: Der berühmte Botaniker Treub, Direktor des Botanischen Gartens Buitenzorg, fand überall, vom Strande bis gegen den Gipfel des Rakata Anfänge einer neuen Vegetation. Als erste Pioniere traten schwarzgrüne, schleimige Überzüge von Spaltalgen auf, wie es ganz ähnlich Graebner auf nacktem Boden der norddeutschen Heide beobachtet hat (6 verschiedene Arten). Diese zwar dünne, aber gelatinöse und wasserbindende Schicht gewährte auch den angewehten Farnsporen ein günstiges Keimbett: es fanden sich schon 11 Farnarten vor, lauter im indomalaiischen Gebiet weit verbreitete Arten. Von Blütenpflanzen fanden sich Keimlinge von 9 Arten am Strande, offenbar von Meeresströmungen angeführt, und im Innern 6 weitere Arten, deren leichte oder mit Flugapparaten versehene Samen wohl durch den Wind herbeigeführt waren. Also 15 Blütenpflanzen und 11 Farne.

1895: Der Zoologe Selenka schreibt: Unter dem Schatten eines 20 cm dicken Baumes, einer Casuarine, zwischen mannshohen Kokospalmen und Gestrüpp fand ich hier zu meinem Erstaunen auch bereits wieder ein reges tierisches Leben vor: Spinnen, Fliegen, Wanzen, Käfer und Schmetterlinge, selbst riesige Eidechsen beleben das friedliche Bild.

1896: Triangulationsarbeiten, von dem Botaniker Boerlage begleitet.

1897: 5 Botaniker: Penzig, Treub, Raciborski, Boerlage und Clautriau; sie beobachteten 50 Blütenpflanzen, 12 Farnkräuter und 22 Algen und Moose. Die Teilnehmer leiden schon unter der Mückenplage.

1906: Prof. Ernst mit Backer, dem besten Kenner der indomalaiischen Flora: 92 Blütenpflanzen, 14 Farne.

1908: Topographen unter Henderschée, mit dem Botaniker Backer und dem Zoologen Jacobson; sie erreichten den Gipfel. Backer konstatiert, daß „das Resultat aller bisherigen Untersuchungen vollkommen die Vermutung bestätige, daß die alte Flora gänzlich vernichtet worden sei und die neue ausschließlich aus eingeführten Elementen hervorgegangen sein muß".

1915—1926: Besiedelung der östlichen Hälfte der Insel durch einen deutschen Bimsstein-Händler, mit störenden Einflüssen.

1919: Im Mai Exkursion von Docters van Leeuwen, im Oktober durch die Teilnehmer des ersten holländisch-indischen naturwissenschaftlichen Kongresses; starke Schäden durch einen von ihnen angesteckten Brand.

1921—1929: Periodische botanische und zoologische Durchforschung und Publikation über Krakatau, unter Leitung von Docters van Leeuwen und des Zoologen Dammerman. Darüber ist von van Leeuwen eine ausführliche Publikation bei Gelegenheit des vierten pazifischen wissenschaftlichen Kongresses erschienen, der 1929 in Bandoeng in Java tagte.

In dieser Arbeit führt van Leeuwen 362 Pflanzenarten auf, 87 makroskopische Pilze, Flechten und Moose, 62 Farne und 213 Blütenpflanzen. Von Gefäßpflanzen sind also von 1886—1929 in den Jahren 1886, 1897, 1905/08, 1919 und 1929 folgende Artenzahlen notiert worden, die die rasche Zunahme klar erkennen lassen (s. die Tabelle Ernsts auf S. 68 u. 69): 25, 54, 125, 202, 275.

Mit Bezug auf die Frage nach der möglichen Erhaltung pflanzlichen Lebens auf Krakatau kommt van Leeuwen zu folgendem Resultat: „So lange wir nicht imstande sind, zu sagen, welche Arten die Eruption überlebt haben und nachher sich erholt haben, müssen wir meines Erachtens uns zu der Ansicht bekennen, daß die ganze Flora der Krakatau-Gruppe von außen eingeführt wurde. Und selbst dann, wenn einige wenige Überlebende vorhanden gewesen wären, so würden sie einen äußerst kleinen Teil der jetzt vorhandenen Artenzahl ausmachen, besonders wenn man auch die niederen Pflanzen und die Epiphyten berücksichtigt."

1931: Der Bericht über die Exkursion des Verfassers in unserem Buch vom 27. Februar bis 3. März 1931, lebendig und anschaulich abgefaßt, gibt ein klares Bild von den Schwierigkeiten dieser Untersuchungen. Sie dehnen sich auf alle 3 Inseln aus. Auf „Verlaten Eiland" konstatierten sie die spontane Entwicklung angeschwemmter Kokosnüsse, das Fehlen des Mangrovewaldes trotz reichlich angeschwemmter und ausgekeimter Rhizophorasamen, die Überwucherung der *Casuarina*bäume durch Lianen, und ihre Verdrängung durch Laubholzbäume, die große Verbreitung von *Carica Papaya* und des wilden Zuckerrohres und reiche Entwicklung epiphytischer Farne.

Auf Krakatau findet der Verfasser gewaltige Veränderungen seit 1906.

Er gibt seinem Erstaunen darüber folgenden Ausdruck: „Alles ist überwaldet! welch ungeahnte, unmöglich gehaltene Entwicklung innerhalb 25 Jahren! Anstelle der früheren steppenähnlichen, mit Gräsern und Farnen überdeckten Ebene und der unteren Hänge ein geschlossener Wald! Nur wenige schmale Gräte in den obersten felsigen Partien des Kegels und an den Nordostabhängen sind noch in der früheren bescheidenen Art erst mit Gräsern oder Gestrüpp überdeckt. Als mächtige dunkelgrüne Kuppen ragen hier und da einzelne Feigenbäume über den sonst recht gleichmäßig erscheinenden Laubwald hinaus."

An der Südostküste von Krakatau konnten die Exkursionisten mehrere stattliche Exemplare von *Cycas Rumphii* beobachten; sie kommen zum Schluß, daß diese Pflanze (in welcher von manchen Forschern Reste der früheren Vegetation vermutet wurden) „ohne Zweifel zu den Neusiedlern Krakataus gehört, die sich spontan aus Keimen nach deren Verbreitung durch die Meeresströmung entwickelt haben und seither eine, wenn auch erst geringe Verbreitung infolge Samenpro-

duktion gefunden haben" (es wurden männliche und weibliche Exemplare gefunden).

Die faunistische Durchforschung durch JAKOBSON und DAMMERMANN von 1908—1931 ergab folgendes:

JAKOBSON fand 1908, also 21 Jahre nach der Eruption, Vertreter aller Tierstämme mit Ausnahme der Säugetiere: 16 Vogelarten, 2 Reptilien, 32 Spinnen, 194 Insekten, 6 Tausendfüßler, 3 Asseln, 5 Cruster, 4 Weichtiere (darunter auch Landschnecken!) und eine Wurmart (keine Erdwürmer); diese wurden 1919 zum erstenmal von SUNIER gefunden.

DAMMERMANN weilte von 1919—1922 16 Tage auf Krakatau und 12 Tage auf „Verlaten Eiland" und der Insel Sebesy. Er fand mit Hilfe intensiver Fangmethoden (Lichtfallen und Aussieben von Bodenaushüben) auf Krakatau die erstaunliche Zahl von 573 Tierarten; auf Verlaten Eiland 325. Von Säugetieren waren es nur Fledermäuse und die sicher durch den Menschen eingeführte Hausratte. Die 34 Vogelarten Krakataus sind wohl durch die reichlich fruchtenden Feigenbäume und Melonenbäume (*Carica Papaya*) in ihrer Vermehrung gefördert worden. Reptilien waren 4 Arten auf Krakatau, darunter die Riesenschlange; Amphibien dagegen fehlten, wohl wegen des Fehlens von Süßwasseransammlungen. Ungewöhnlich groß ist die Zahl der Insektenarten: 441 auf Krakatau, 238 auf Verlaten Eiland. Auf Protozoen ist bis jetzt nur die in dem Moosrasen lebende mikroskopische Tierwelt untersucht worden. Der Basler Zoologe HEINIS hat aus einem einzigen Moosrasen 22 Arten von Wurzelfüßlern, 6 Rädertiere, 6 Bärentierchen und 4 Fadenwürmer isoliert, die alle noch lebend waren.

So weit war unter friedlicher Zusammenarbeit zahlreicher Forscher die Arbeit bis 1929 (dem Publikationsjahr des Kongreßbuches von VAN LEEUWEN und DAMMERMANN) gediehen, da platzte plötzlich wie eine Bombe eine extrem polemische Publikation BACKERS auf die ahnungslosen bisherigen Untersucher herab: während alle, ja BACKER selbst 1908, von der Annahme ausgingen, daß die neue Lebewelt Krakataus vollzählig eingewandert sei, und keine Relikte der früheren Flora und Fauna mitgewirkt hätten, sucht nun BACKER „in scharfsinniger und in viele Details eingehender Beweisführung" (wie ERNST sich ausdrückt) die Möglichkeit des Ausdauerns alter Florenbestandteile an den von Vulkanprodukten nur schwach bedeckten und bald teilweise durch Erosion freigelegten oberen Südostabhanges des Rakata und auf den auch schon früh teilweise entblößten Basaltfelsen bei Zwarte Hoek, darzutun.

BACKER kommt auf Grund seiner Beurteilung der ganzen Krakatauforschung, 21 Jahre nach seinem Besuch der Insel, ohne neue Untersuchungen oder Experimente (die er zwar verlangt, aber nicht ausführt), zu folgendem vernichtendem Urteil:

„1. Es ist keineswegs bewiesen, daß die Eruption von 1883 alles vegetabilische Leben auf Krakatau zerstört hat.

2. Selbst wenn das bewiesen werden könnte, wissen wir — mit Ausnahme der Strandflora — *gar nichts* über die Art und Weise, wie die neue Vegetation entstanden ist. Nur Vermutungen ohne wissenschaftlichen Wert wurden geäußert, aber keine zuverlässigen Beobachtungen, noch Experimente.

3. Deshalb kann das Krakatau-Problem weder jetzt, noch in Zukunft je gestellt oder gelöst werden und ist für die botanische Wissenschaft völlig ohne Bedeutung."

Prof. ERNST, der, wie auch der Referent und noch manche andere, C. A. BACKER als kundigem Führer auf javanischen Exkursionen viel verdankt, setzt sich in 3 umfangreichen Kapiteln mit der „Reliktfrage" und den Transportmöglichkeiten in „unparteiisch vermittelnder Stellungnahme" auseinander, in wohltuendem Gegensatz zu der BACKERschen Kampfschrift, die in ihrer Heftigkeit eine Trübung der Objektivität durch persönliche Animosität verrät.

Um in der Frage nach der Bedeutung überlebender Organismen bei der Besiedelung vulkanischen Neulandes durch Vergleichung ähnlicher Fälle ein Urteil zu gewinnen, hat der Verf. eine große Zahl solcher Untersuchungen einläßlich dargestellt. (Neubesiedelungen im malaiischen Archipel, Volcano Island im Bombonsee auf Luson, Vulkan Komagatake auf Hokkaido, Lavabesiedelung am Jorullo [Mexiko], Rumoka [Kongo] und Kilauea [Hawai]). Er hat mit diesen mühsam zusammengesuchten Studien ein wertvolles Quellenmaterial für pflanzengeographische Fragen geboten.

In bezug auf die Reliktfrage auf Krakatau betont ERNST als Hauptresultat der obigen Studien, daß die Wiederbegrünung aus Überlebendem sehr rasch erfolgt, und daß bei Überdeckung mit Asche und Bimsstein nicht nur die Hitze, sondern auch der Einfluß schädlicher löslicher Salze zerstörend wirken muß.

Auf Krakatau wären also im Verlauf von 1—2 Jahren aus den Relikten grüne Inseln geworden, die weder TREUB noch VERBEEK entgangen wären, sowohl auf den Südosthängen des Rakata wie auf den Basaltfelsen von „Zwarte Hock".

Er kommt wie VAN LEEUWEN zu folgender Erwägung: „Für die Hypothese einer partiellen Erhaltung einer früheren Pflanzen- und Tierwelt[1] lassen sich nun nachträglich ebensowenig positive Beweise erbringen, wie für die völlige Vernichtung der früheren Pflanzen- und Tierwelt. Wir müssen uns also an die Feststellungen der Augenzeugen VERBEEK, COTTEAU und TREUB halten und Korrekturen ihrer Angaben nur da anbringen, wo durch die Resultate wirklich Irrtümer nachgewiesen worden sind. ... Die Wiederbesiedelung der vulkanischen Krakatauinsel ist also nach zwei Richtungen als Spezialfall im weiten Gebiet der Neu- und Wiederbesiedelungsvorgänge aufzufassen, als Spezialfall allerdings, der sich von allen anderen seither untersuchten Fällen durch eine besonders interessante Kombination der für den Gesamtbesiedelungsverlauf maßgebenden Faktoren auszeichnet. Die Vergleichung der Resultate der Krakatauforschung mit den in anderen Gebieten erreichten Resultaten ergibt auch, daß bis jetzt keine anderen Untersuchungen von ebenso weitem Ausmaß, mit ebenso umfassender Fragestellung und ebenso reichen Resultaten durchgeführt worden sind."

Also ein deutliches Abrücken von BACKER und eine warme Ehrenrettung der von diesem so schonungslos verurteilten Mitbeobachter ERNSTS.

Und nun die Frage nach der Herkunft der neuen Floren- und Faunenelemente, nach den Verbreitungsagentien: Wasser, Wind, Tiere, „Drift" (treibende Baumstämme und schwimmende Inseln aus losgerissenen Strandstücken) und Mensch.

Der Verfasser schickt die allgemeine Bemerkung voraus, „daß wir mit der Erforschung der jetzt beobachteten Besiedelungsvorgänge und der Feststellung von jetzt vorhandenen Zusammenhängen immer nur Wahrscheinlichkeiten erschließen, also keine Beweise erbringen". Wenn der Zoologe SCHARFF erklärt: „Ich zögere ohne überzeugende Beweisführung anzunehmen,

[1] Für letzteres war SCHARFF eingetreten. ERNST weist auch das zurück.

daß eine vom Leben total entblößte Insel, wie man es von Krakatau behauptet, nur durch zufällige Zufuhr mit einer Menge von Pflanzen und Tieren hätte bevölkert werden können"; so erklärt ERNST sehr richtig: „Einer solchen Stellungnahme gegenüber sind weitere Nachweise von Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten unnütz. Der verlangte *„Beweis"* ist für Krakatau ebensowenig zu leisten, wie er bis jetzt für irgendeine Neubesiedelung geleistet worden ist, oder in Zukunft geleistet werden kann. Trotzdem wird das Krakatauproblem in der Geschichte der Besiedelungsforschung meines Erachtens die ehrenvolle Stellung beibehalten, die ihm die pflanzengeographische Literatur in ungezählten Hinweisen während der letzten Jahre eingeräumt hat."

Aber BACKER verlangt sogar beweisende Experimente über die Besiedelung! ERNST lehnt das ab; der Referent möchte ergänzend darauf hinweisen, welch' unmögliche Forderung das ist!

Man stelle sich vor; es soll von einer mit flugfähigen „Verbreitungseinheiten" versehene Art auf Krakatau experimentell bewiesen werden, daß sie nicht aus übriggebliebenen Relikten der früheren Flora hervorgegangen, sondern durch den Wind hergebracht worden sei. Wie müßte sich dieses Experiment gestalten? Angenommen, die Art sei auch in Westjava verbreitet, so müßte man dort Hunderte von keimfähigen Früchten oder Samen sammeln, sie mit einer nicht abwaschbaren und nicht beschwerenden Farbe markieren und einem starken Ostmonsum an der äußersten Westspitze Javas aussetzen, dann rasch in Krakatau an der vermutlichen Ankunftsstelle sie aufsuchen und nachweisen, daß aus diesen markierten Samen wirklich lebensfähige Exemplare hervorgehen: diese Forderung stellen, heißt sie zurückweisen. BACKER selbst hat sich wohl gehütet, selbst solche „experiences" anzustellen! Und ebenso unmöglich wäre es, die Erhaltung der Lebensfähigkeit tiefliegender Rhizome unter einer 1—2 m dicken, anfangs glühend heißen Bimssteindecke experimentell zu prüfen!

Nach der Diskussion der BACKERschen Einwürfe weist ERNST in einer weiteren einleitenden Bemerkung auf die sehr günstige Lage Krakataus für Neubesiedelung hin. Die Insel ist von der Prinzen-Insel nur 43 km entfernt, vom nächsten Kap Westjavas (Javas 3. punt) 40,5 km, vom äußersten Punkt an Sumatras Südküste 40 km. „Luft- und Wasserströmungen zeichnen sich durch regelmäßigen Wechsel in der Richtung und vor allem durch bedeutende Intensität aus und begünstigen damit den Transport pflanzlicher und tierischer Organismen außerordentlich." Wenn auch der Ausspruch eines Pflanzengeographen, die von Flora und Fauna entblößten Inseln seien eigentlich nur ein „auszufüllendes Loch" in den Urwäldern der Umgebung gewesen, gewiß übertrieben ist, so gibt ERNST doch auch selbst zu, „die Besiedelungsbedingungen waren für die Krakatauinseln ungleich günstiger als für die große Mehrzahl . . . der Koralleninseln".

Und endlich weist ERNST nachdrücklich darauf hin, daß selbstverständlich zur dauernden Ansiedelung verfrachteter Keime auch die Entwicklungsmöglichkeit unter den neuen Bedingungen gehört. „Die Wahrscheinlichkeit für die erfolgreiche Übertragung irgendwelcher Keime durch irgendwelches Transportmittel in größere Entfernung ist recht gering: Das Problem der Verbreitung wird zu einem statistischen oder zu einem Wahrscheinlichkeitsproblem. Der außerordentliche Zufall ist ausschlaggebend *und damit entzieht sich der Besiedelungseffekt im Einzelfalle und weiter auch das Gesamtproblem einer Besiedelung von Neuland, wie z. B. von Krakatau bei einer Oberfläche von 14 qkm in unzähligen Einzelheiten der direkten Feststellung und dem experimentellen Beweis"* (vom Autor gesperrt!).

Der Referent möchte hierzu bemerken, daß als Correctiv gegenüber dem Zufall die unendlich langen Zeiträume angeführt werden können, in welchen Besiedelungsmöglichkeiten verwirklicht sind: wenn in 100000 Jahren nur *einmal* eine Kokosnuß z. B. auf einer Insel zur Entwicklung gelangt, so ist die Besiedelung geglückt.

Es ist hier nicht möglich, im einzelnen auf die mit größter Gründlichkeit und weitgehenden Benutzung der sehr zerstreuten Literatur durchgeführten Untersuchungen über die Möglichkeiten der Wasser-, Wind- und Tierverbreitung der Krakatauflora und -fauna einzugehen. Es sei u. a. hervorgehoben, daß in der alten Streitfrage über Ursprung und Verbreitung der Kokospalme (spontane Verbreitung durch Meeresströmungen oder ausschließliche Verbreitung durch den Menschen) der Verfasser zum Gesamtproblem nicht Stellung nimmt, wohl aber erklärt, daß *„Seetransport von Kokosnüssen, spontane Keimung angeschwemmter Früchte und spontane Vermehrung der Kokospalme für Krakatau sicher nachgewiesen ist"*.

Über Vögel als Samenverbreiter liegen zahlreiche Beobachtungen über die Keimfähigkeit von aus Vogelmagen stammenden Samen aus dem malaiischen Gebiet vor; und die geringen zu überfliegenden Distanzen lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß die Vögel nach Krakatau gelangen, bevor sie die Samen entleert haben.

Die „Driftverbreitung" hat zweifellos stark gewirkt: hat doch ERNST selbst auf einer Fahrt zwischen Sebesy und Verlaten Eiland in 2 Stunden nicht weniger als acht große treibende Bäume mit Krone und Wurzelwerk festgestellt; der Ref. hat auf dem Meere weit von der Küste Javas ganze treibende Inselchen mit aufrechten *Nipa*palmen beobachtet. Namentlich für Insekten dürfte der Transport von Ameisen, Termiten, von Eiern, Larven oder Puppen in Rindenfugen, zwischen Rinde und Holz, in Bohrlöchern, morschem Holz in Betracht kommen; auch Fliegen, Blattläuse, Wanzen, Gallenbildner, Schmetterlinge (als Eier oder Puppe) können so eingeführt worden sein.

Für viele flügellose Insekten, für Crustaceen, Tausendfüßler und Spinnen kommt eine andere Transportmöglichkeit als auf Driftmaterial kaum in Frage, ebenso für die Mollusken und Würmer. Im Eistadium können Reptilien ebenfalls leicht durch Driftholz verfrachtet werden: hat doch DAMMERMANN in einem morschen Baumstrunk im Strandgut von Krakatau die Eier einer Eidechse (Hemidactylus) gefunden.

Durch den Wind sind nach DAMMERMANN 81% der höheren Tiere als *geflügelte Neusiedler* gebracht worden; zweifellos auch Dauerstadien von moosbewohnenden Protozoen, ferner Bakterien, und namentlich Pilzsporen: haben doch amerikanische Forscher vom Flugzeug aus in Höhen von 2666 m auf einem nur 5 Minuten lang exponierten Objektträger 827 bestimmbare und gegen 200 unbestimmbare Pilzsporen nachweisen können. „Das gibt vielleicht eine Vorstellung von der ungeheuren Anzahl von Keimen, die im Laufe einiger Jahre von den bis 800 m ansteigenden Abhängen des Krakatau aus den vorbeiströmenden Luftmassen abgefangen worden sind." DE KRUYFF fand in den 1906 vom Verf. auf Krakatau gesammelten Erdproben neben zahlreichen anderen Bakterien namentlich auch die so wichtigen Nitrit- und Nitratbakterien und stickstoffbindende Bakterien. Auch der Symbiont in den Leguminosenknöllchen, Bacterium radicicola, der in den Wurzeln von 23 Leguminosenarten auf Krakatau lebt, muß vom Winde gebracht worden sein, vielleicht auch durch Driftmaterial.

Eingehend wird in einem letzten Kapitel das Entstehen, Werden und Vergehen von Pflanzen- und Tiergesellschaften auf Krakatau besprochen, die allerdings nicht allein durch biologische „Successionen", sondern auch durch die seit 1883 sich ununterbrochen vollziehenden Veränderungen der Küstengestalt beeinflußt sind: 1. *Ipomoea-Pes Caprae*-Formation des Strandes, charakterisiert durch die kriechende „Ziegenfußwinde" (die für tropische Küsten sonst so bezeichnende *„Mangrove"* fehlt wegen ungeeigneter Beschaffenheit des Strandes fast völlig); 2. der *„Barringtonia*-Strandwald"; 3. der *„Casuarina*wald", der durch die schattenden *Barringtonia*-Bäume und durch Überwuchern mit Schlingpflanzen rasch zurückgeht; 4. Mischwald und *Macaranga*-Formation (ein *Euphorbiaceen*-Baum, der durch Vögel reichlich ausgesät wird); 5. Die Grassteppe, vorwiegend aus dem Alang-Gras (*Imperata cylindrica*), aus dem wilden Zuckerrohr (*Saccharum spontaneum*) bestehend, anfänglich stark verbreitet, aber in klarer „Succession" rasch durch die sich ausdehnenden Wälder verdrängt. 6. Die *„Cyrtandra*-Formation bedeckt große Partien der Abhänge, namentlich von 400 m an aufwärts (so 1919 von VAN LEEUWEN beobachtet; seit 1928 nur noch in Höhen über 700 m, in der obersten Gipfelregion, zu finden. *Cyrtandra sulcata* ist ein *Gesneriaceen*-Bäumchen).

Ein schließlicher „Rückblick und Ausblick" beschäftigt sich mit der letzten vulkanischen Tätigkeit, den Schwierigkeiten, die einer systematischen Untersuchung des Besiedelungsverlaufs entgegenstanden und so zu mancher Unvollkommenheit führten.

Der Verfasser schließt mit folgenden Worten:

„Trotz dieser *Unvollkommenheit* bedeutet die Krakatauforschung während eines halben Jahrhunderts einen wichtigen *Beitrag zur Feststellung der Beziehungen zwischen der gegenwärtigen Verbreitung der Organismen auf der Erdoberfläche, ihren Verbreitungsmitteln und den verbreitenden Agentien.* Zahlreiche Anregungen sind von dieser Forschung ausgegangen, eine reiche Literatur zur Besiedelungsfrage vulkanischer Gebiete hat sich ihr angeschlossen. Sie bedeutet auch in diesem Sinne ein wichtiges Glied in der Entwicklung und Sicherung unserer phyto- und zoogeographischen Vorstellungen und Kenntnisse. Bleiben also der *ungelösten* Fragen im engeren Sinne des Krakatauproblemes noch viele, so treten gegenüber den Zweifeln an der Auslegung des Erreichten im einzelnen, das *Gesamtproblem* und das *Gesamtergebnis* doch zu überwältigend in Erscheinung: Krakatau von 1933, eine von riesigen Feigenbäumen durchsetzte Waldfläche vom Meeresstrand bis in 800 m Höhe! Ein kurzes halbes Jahrhundert nach völliger Vegetationslosigkeit ein Wald aus lebenstrotzenden Bäumen mit Blüten und Früchten, mit Lianen und Epiphyten, einem Unterholz, durch welches das Haumesser nur langsam und schwer einen Weg zu bahnen vermag. Ein Wald aber, nicht nur mit allen Äußerungen vorwärts drängenden Lebens, nein, ein *Urwald*, auch mit allen Zügen des Vergehens, nicht durch vulkanische Kräfte, sondern durch das Leben selbst: hoch geschichtete Haufen modernder Blätter und Äste, gestürzte Stämme, durch die der Fuß durchbricht, Hunderte und Tausende von Pilzen. Das ist ein Bild des Lebens, ein Bild solcher Wucht, das man wohl in sich aufnehmen und zu begreifen versucht, zu gewaltig aber um als Ganzes und in seinen unzähligen Einzelheiten voll erfaßt werden zu können." C. SCHRÖTER, Zürich.

Die Atmosphären der Planeten[1].

Die in Nature veröffentlichte Abschiedsansprache des Präsidenten der „American Association for the Advancement of Science" gibt einen ausgezeichneten Überblick über Entwicklung und Stand der Erforschung der Planetenatmosphären. Die Gegenüberstellung dessen, was unmittelbare Beobachtung der Planeten mit dem Fernrohr an Erkenntnissen gebracht hat, und dessen, was die Anwendung spektroskopischer Methoden — empirisch und theoretisch — an Einblicken ermöglicht hat, ist so recht ein Schulbeispiel dafür, wie ein Gebiet, das die Fachwissenschaft fast ganz dem beobachtenden und spekulierenden Liebhaber überlassen hatte, mit einemmal neue Anregung bekam, so daß Fragen beantwortet werden konnten, die man bis dahin kaum zu stellen wagen durfte.

Die unmittelbare Beobachtung am Fernrohr gestattet im günstigsten Fall den Schluß auf das Vorhandensein oder Fehlen einer gasförmigen Hülle um die Planeten. Der rasche Wechsel der auf den sichtbaren Oberflächen von Jupiter oder Saturn erkennbaren Einzelheiten darf als Zeichen dafür angesehen werden, daß hier Wolken in einer dichten Atmosphäre sich bilden und verändern. Das jahreszeitliche Wachsen und Abnehmen der weißen Polkappen auf dem Mars kann nicht gut anders gedeutet werden als durch abwechselnde Kondensation und Verdampfen eines schneeartigen Stoffes, setzt also eine wenn auch noch so dünne Atmosphäre voraus, die den Dampf aufnimmt. Bei Venus schließlich ist in seltenen günstigen Fällen die von der Sonne erleuchtete Lufthülle unmittelbar zu sehen als Fortsetzung der Hörnerspitzen der ganz schmalen Sichel, die sich unter Umständen zu einem vollen leuchtenden Ring um die dunkle Planetenscheibe schließen.

Umgekehrt können wir beim Mond mit großer Sicherheit das Vorhandensein auch nur der geringsten Spuren einer Gashülle in Abrede stellen. Man hat niemals irgendwelche Dämmerungserscheinungen oder Trübungen oder Anzeichen für eine lichtbrechende oder lichtschwächende Wirkung in der Nähe des Mondrandes beobachtet. Der Mond gleicht „einem Gipsabguß, von einem mächtigen Scheinwerfer beleuchtet".

Bei der Erforschung der chemischen Zusammensetzung der Planetenatmosphären auf spektroskopischem Wege stößt man auf zwei Schwierigkeiten. Eine Reihe von Gasen, die wir in der Erdatmosphäre vorfinden, erzeugt keine selektiven Absorptionen in dem der Beobachtung zugänglichen Spektralbereich, entzieht sich daher dem unmittelbaren Nachweis. Dazu gehören Wasserstoff, Helium, Stickstoff, Neon, Argon. Andere absorbieren umgekehrt so kräftig, daß die „tellurischen" Linien die möglichen „planetarischen" Linien vollständig zudecken. Dies gilt vor allem vom Ozon, das den astronomischer Beobachtung zugänglichen Bereich unterhalb 0,3 μ völlig abschneidet, während im Rot und Infrarot Wasserdampf und Sauerstoff kräftige Banden erzeugen.

In den Fällen, wo die Absorption in der Lufthülle der Erde nicht „total" ist, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die planetarischen Linien nachzuweisen. Vergleicht man das Spektrum des vom atmosphärelosen Mond zurückgeworfenen Sonnenlichtes mit dem von einem Planeten kommenden, dann werden sich in dem Spektrum des Planeten die zusätzlichen Absorptionen durch Verstärkung der fraglichen Linien zu erkennen

[1] H. N. RUSSELL, The Atmospheres of the Planets. Supplement to Nature Nr 3406, 9. Februar 1935.

geben. Infolge der Schwierigkeiten, welche die Gewinnung von Mond- und Planetenspektren unter völlig gleichen Bedingungen (gleicher Zustand der Erdatmosphäre) bereitet, ist diese Methode nur sehr beschränkter Genauigkeit fähig. Zuverlässiger ist die Trennung der planetarischen Linien von den irdischen durch die Wirkung des Dopplereffektes. Die Linien, die auf dem Planeten entstehen, sind infolge der Relativbewegung des Planeten gegen die Erde etwas verschoben. Allerdings sind selbst unter den günstigsten Umständen diese Geschwindigkeiten so klein, daß sie keine vollständige Verdoppelung der Linien bewirken können, sondern höchstens kleine asymmetrische Verbreiterungen. Sorgfältige Messungen an Spektren größter Dispersion (Mt. Wilson) haben zu dem Schluß geführt, daß die auf Mars oder Venus vorhandenen Mengen freien Sauerstoffes sicher kleiner sind als $^1/_{1000}$ der in der irdischen Lufthülle enthaltenen Menge. Auch Wasserdampf kann nur in allergeringsten Spuren vorhanden sein, auf Mars gerade hinreichend, um den Kreislauf der dünnen Polkappen zu decken.

Die volle Tragweite spektroskopischer Methoden offenbart sich in Entdeckungen der allerjüngsten Zeit, die zeigen, daß offenbar ganz erhebliche Verschiedenheiten in der Zusammensetzung der einzelnen Planetenatmosphären bestehen. 1932 gelang Adams und Dunham die Zuordnung dreier Banden im infraroten Venusspektrum zum Kohlendioxyd. Die Zuordnung konnte bald darauf bestätigt werden durch Erzeugung der bis dahin unbekannten Banden im Laboratorium, wo sie allerdings selbst bei Längen der Absorptionsrohre bis 45 m und Drucken bis 47 Atmosphären noch schwächer sind als im Spektrum der Venus (Dunham, Adel und Slipher).

Die 4 großen Planeten (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun) zeigen im Sichtbaren und im Infrarot Banden, deren Intensität zum Teil mit wachsendem Sonnenabstand des Planeten zunimmt. Sie sind bei Uranus und Neptun so kräftig, daß diese beiden Planeten infolge des fehlenden Rot schon bei bloßer Betrachtung im Fernrohr durch ihre grünliche Farbe auffallen. Obwohl die im Sichtbaren gelegenen Banden schon seit über 60 Jahren bekannt waren (Huggins), trotzten sie allen Versuchen der Erklärung, da es nicht gelang, sie im Laboratorium zu erzeugen. Erst die Möglichkeit, aus den bekannten Termen der Moleküle auch nicht beobachtete Linien zu berechnen, konnte die Lösung bringen, die 1932 von Wildt gegeben wurde: zwei der Banden, die bei Jupiter am stärksten sind, gehören dem Ammoniak an, die anderen, bei Jupiter am schwächsten, dem Methan. Auch hier folgte der Deutung die unmittelbare Bestätigung durch Auflösung der Banden mit Spektrographen größter Dispersion (Dunham) und durch Erzeugung der Banden im Absorptionsversuch (Wildt, Adel und Slipher). Im ganzen kennt man heute 36 einzelne Banden, die alle — mit Ausnahme der beiden Ammoniakbanden — dem Methan angehören. In den Atmosphären der großen Planeten kommt nur dieser niedrigste Kohlenwasserstoff vor, und zwar als wesentlicher Bestandteil.

Zusammenfassend kann man das Ergebnis der bisher vorliegenden Untersuchungen so wiedergeben: Die Atmosphären der großen Planeten bestehen aus Wasserstoffverbindungen; Planeten mittlerer Größe (Mars, Erde, Venus) haben eine Hülle aus Sauerstoffverbindungen; kleine Himmelskörper (Monde und kleine Planeten) haben überhaupt keine Atmosphäre. Die letzte Tatsache findet ihre Erklärung sehr einfach darin, daß die Anziehung der kleinen Himmelskörper nicht ausreicht, um eine Atmosphäre zu halten, da die Entweichungsgeschwindigkeit für die Moleküle kleiner ist als die mittlere Geschwindigkeit der Temperaturbewegung.

Die Verschiedenheit der Gruppen der Planeten äußert sich nicht nur in der Zusammensetzung ihrer Atmosphären; sie besteht auch für das Innere. Während die mittleren Dichten von Mond, Merkur, Venus, Erde, Mars zwischen 3,3 und 5,5 liegen, bewegen sich die der großen Planeten zwischen 1,6 (Neptun) und 0,7 (Saturn). Aus der Abplattung von Jupiter und Saturn und aus den Störungen, die diese Planeten auf ihre Monde ausüben, kann man außerdem das Gesetz ableiten, nach dem die Dichte von außen nach innen zunimmt. Man kommt dann zu dem Schluß (Jeffreys, Wildt), daß der äußere Mantel merklich geringere Dichte als Wasser haben muß (0,8 für Jupiter, 0,4 für Saturn). Diese Bedingung erfüllen gefrorene Kohlenwasserstoffe (Methan 0,42), Helium (0,19) und Wasserstoff (0,08), allenfalls noch Ammoniak (0,82), nicht aber Sauerstoff (1,45) und Stickstoff (1,02).

Im letzten Teil seiner Ausführungen berührt Russell im Anschluß an Überlegungen von Jeffreys und an die geochemischen Untersuchungen V. M. Goldschmidts die heute zum Teil noch spekulativen Elemente einer Theorie der Entwicklung der Planetenatmosphären; ausgehend von dem Grundgedanken, daß die Planeten sich aus Massen gebildet haben, die einst von der Sonne abgeschleudert wurden. Massen, die groß genug waren, um auch die leichten Gase festzuhalten, werden in der Hauptsache die Zusammensetzung der äußeren Schichten der Sonne aufweisen (Wasserstoff überwiegend, dann Helium, Sauerstoff, Kohlenstoff, in geringeren Mengen Stickstoff und die Metalle). Kleine Massen mußten unter Verlust aller gasförmigen Bestandteile sehr rasch zu Gesteinsbrocken von der Art des Erdmondes erstarren.

Bei Massen von mittlerer Größe (Erde) wird sich gleich zu Anfang ein Fraktionierungsprozeß abgespielt haben, bei dem z. B. ein Teil des Sauerstoffes sich verflüchtigte, ein anderer durch Oxydation gebunden wurde. Die im Schmelzzustand des Planeten aus schweren inerten Gasen bestehende Hülle (Argon, Kohlendioxyd, Stickstoff, Neon) ging während der Erstarrung der Schmelze vollständig verloren. Aus den von den Magmen abgegebenen Gasen (Kohlendioxyd und Wasserdampf) bildete sich später eine neue Atmosphäre über der erstarrten Kruste. Diese eigentliche Uratmosphäre weist heute noch die Venus auf, in der wir das Jugendstadium eines erdähnlichen Planeten erblicken dürfen. Der heutige Gehalt der Erdatmosphäre an Sauerstoff scheint nur als Ergebnis der Lebenstätigkeit auf unserem Planeten erklärbar zu sein (Aufnahme von Kohlendioxyd, Abgabe von Sauerstoff durch die Pflanzen). Dieser Sauerstoff wird im Laufe der weiteren Entwicklung für die Oxydation der Oberflächengesteine verbraucht. Das Ende sehen wir etwa in dem heutigen Zustand des Mars verwirklicht, dessen völlig oxydierte Oberfläche (Erklärung der rötlichen Farbe!) von einer sauerstofflosen dünnen Gashülle umgeben wird.

Auf einem der großen Planeten (Jupiter) mit einem überwiegenden Gehalt an Wasserstoff mußten sich wesentlich andere Vorgänge abspielen. Die durch die reduzierende Wasserstoffatmosphäre nach dem Mittelpunkt zu fallenden Tropfen geschmolzener Lava erzeugen etwa Verhältnisse wie in einem Hochofen; es kommt zur Bildung eines überwiegend aus Eisen bestehenden Kernes. In der äußeren Hülle laufen, von Temperatur und Druck abhängig, vor allem zwei Prozesse ab:

$$CO_2 + 4\,H_2 \rightleftarrows CH_4 + 2\,H_2O$$
$$N_2 + 3\,H_2 \rightleftarrows 2\,NH_3.$$

Die Bildung von Methan aus Kohlendioxyd und Wasserstoff wird durch hohen Druck und niedrige Temperatur begünstigt. Bei etwa 600° sind CO_2 und CH_4 in vergleichbaren Mengen vorhanden; unterhalb 300° überwiegt eindeutig Methan. Ähnlich sind zwischen 200° und 300° die Mengen von Stickstoff und Ammoniak vergleichbar; bei niedrigeren Temperaturen überwiegt Ammoniak. Wahrscheinlich wirken bei der Bildung von Ammoniak und Methan noch reduzierende Eisenoxyde und elektrische Entladungen (Gewitter) beschleunigend mit.

Mit sinkender Temperatur wird zuerst das Wasser aus der Atmosphäre ausfrieren. Die Temperatur, bei der dies geschieht, hängt sehr von dem Ammoniakgehalt ab und kann in der Gegend von −100° liegen. Bei Temperaturen von etwa −120° beginnt Ammoniak auszufrieren. Da die auf Jupiter gemessenen Oberflächentemperaturen in dieser Gegend liegen, bestehen die Wolken auf diesem Planeten wohl zum überwiegenden Teil aus gefrorenen Ammoniakkriställchen. Die Temperaturen der anderen großen Planeten liegen unter dem Gefrierpunkt des Ammoniaks. Entsprechend zeigt das Spektrum des Saturn nur noch schwache Ammoniakbanden, in den Spektren von Uranus und Neptun sind sie überhaupt nicht mehr nachweisbar. Als nächster Bestandteil friert auch noch das Methan aus. Auf dem Neptun, wo die Temperatur in der Gegend von −200° liegt, dürfte der Zustand erreicht sein, in dem sich Wolken aus Methankriställchen bilden.

Die Worte, mit denen RUSSELL seine Ausführungen schließt, mögen unübersetzt hier Platz finden:

The problem of planetary atmospheres, so puzzling a few years ago, is now far advanced towards its solution. Towards its interpretation many sciences have contributed — astronomy, physics, chemistry, geology, biology and technology. No one of them alone could have resolved the difficulties. It may, therefore, be appropriate that the attention of so general a scientific gathering may have been invited for a while to it: for it truly illustrates the old motto „In union there is Strength".

H. KIENLE, Göttingen.

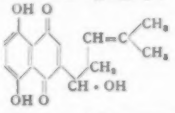
Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über spiegelbildliche Naturfarbstoffe.

Der in reinem Zustande isolierte rote Farbstoff der Alkannawurzeln (Alkanna tinctoria, Südeuropa), das *Alkannin* besitzt die Formel $C_{16}H_{16}O_5$, Schmp. 149°. Das Alkannin ist, was allen Bearbeitern bisher entgangen ist, optisch aktiv, und zwar linksdrehend $[\alpha]_{Cd}^{20} = -170°$ (Benzol). Ein Farbstoff von gleicher Zusammensetzung ($C_{16}H_{16}O_5$), fast gleichem Schmp. (147°) und gleichem Absorptionsspektrum (Schwerpunkte der Banden bei 570, 560, 543, 522, 488, 454 in Benzin) war bereits aus Shikonwurzeln (Lithospermum erythrorhizon; Japan) isoliert und unter dem Namen *Shikonin* beschrieben worden[1]. Ein Vergleich[2] der beiden Farbstoffe ergab, daß diese nicht identisch sind. Das polarimetrisch ebenfalls noch nicht untersuchte Shikonin erwies sich im Gegensatz zum Alkannin als rechtsdrehend und stellt den optischen Antipoden des linksdrehenden Alkannins dar, eine bei Naturfarbstoffen überraschende Erscheinung.

Durch Behandlung mit methyl-alkoholischer Salzsäure ließen sich Alkannin und Shikonin in ein und dieselbe optisch-inaktive Methoxyverbindung $C_{17}H_{18}O_5$ (Schmp. 105°) überführen[3].



Auf Grund zahlreicher Abbauversuche, über die an anderer Stelle berichtet werden soll, sind die für Alkannin und Shikonin bisher vermuteten Konstitutionsformeln im beistehenden Sinne abzuändern.

Heidelberg, Kaiser Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung, Institut für Chemie, den 12. Januar 1935.
HANS BROCKMANN. HUBERT ROTH.

Über die Streuung von Licht an Licht nach der Diracschen Theorie.

HALPERN[4] und DEBYE[5] haben darauf aufmerksam gemacht, daß es nach der DIRACschen Theorie Streuung von sichtbarem Licht an Licht geben muß. Denn es gibt Prozesse, in denen zwei Lichtquanten virtuell ein Paar (Positron und Elektron) erzeugen, das dann sofort wieder zerstrahlt. Diese Prozesse verwandeln also zwei Lichtquanten (ν_1, ν_2) in zwei andere Lichtquanten (ν_1', ν_2'), und sie können auch eintreten, wenn ihre Energie nicht zur Erzeugung eines wirklichen Paares ausreicht.

Für diesen Fall, der durch die Bedingung:

$$\nu_1 \nu_2 (1 - \cos \sphericalangle \nu_1 \nu_2) < \frac{2 (mc^2)^2}{h^2},$$

also in geeignetem Koordinatensystem durch $h\nu < mc^2$ für alle Lichtquanten charakterisiert werden kann,

(m = Masse des Elektrons, e = Ladung des Elektrons, c = Lichtgeschwindigkeit, $h = 2\pi\hbar$ = PLANCKsches Wirkungsquantum)

haben wir den Wirkungsquerschnitt für den Zusammenstoß zweier Lichtquanten bestimmt[1].

Dazu wurde zunächst nach der gewöhnlichen Störungsrechnung der DIRACschen Theorie das Matrixelement 4. Ordnung für diesen Prozeß berechnet und nach Lichtquantenenergien $\frac{h\nu}{mc^2}$ entwickelt.

Das Glied 0. Ordnung in $\frac{h\nu}{mc^2}$ erwies sich als entgegengesetzt gleich dem Glied

$$H_4 = \frac{-1}{12\pi^2}\left(\frac{e^2}{\hbar c}\right)^2 \cdot \frac{1}{\hbar c} \cdot \lim_{\varepsilon \to 0} \int d\xi \left(\mathfrak{A}(\xi), \frac{\mathfrak{r}}{r}\right)^4$$

($\mathfrak{A}$ = Potential des Strahlungsfeldes), das nach HEISENBERG[2] zu dem gewöhnlichen Matrixelement 4. Ordnung addiert werden muß, um das wirkliche zu ergeben.

Die Glieder 1., 2. und 3. Ordnung verschwanden, und das Glied 4. Ordnung in $\frac{h\nu}{mc^2}$ ließ sich formal darstellen als Matrixelement einer Funktion vom Strahlungsfeld, so daß für die hier betrachteten Prozesse die gewöhnliche Hamiltonfunktion, die die Energien von Licht *und* Materie enthält[3], ersetzt werden kann durch die folgende, die nur vom Strahlungsfeld abhängt:

$$(1)\quad \left\{ \begin{array}{l} \int U\, dV = \int \frac{\mathfrak{B}^2 + \mathfrak{D}^2}{8\pi}\, dV - \frac{1}{360\pi^2} \frac{\hbar c}{e^2} \frac{1}{E_0^2} \\ \qquad \int [(\mathfrak{B}^2 - \mathfrak{D}^2)^2 + 7(\mathfrak{B}\mathfrak{D})^2]\, dV. \end{array} \right.$$

Darin bedeutet $\mathfrak{D}$ die elektrische Verschiebung, $\mathfrak{B}$ die magnetische Induktion, $E_0 = \frac{e}{(e^3/mc^2)^2}$ den Betrag der „Feld-

[1] R. MAJIMA u. C. KURODA, Acta phytochim. (Tokyo) 1, 43 (1922).

[2] Der Deutschen Botschaft in Tokyo spreche ich für die freundliche Beschaffung von Shikonwurzeln meinen allerbesten Dank aus.

[3] Dieses Kunstprodukt wurde kürzlich von H. RAUDNITZ u. E. STEIN, Ber. dtsch. chem. Ges. 67, 1955 (1934) für den Naturfarbstoff gehalten.

[4] O. HALPERN, Physic. Rev. 44, 885 (1934) — vgl. auch G. BREIT u. J. WHEELER, Physic. Rev. 46, 1087 (1934).

[5] In einer Diskussion mit Herrn Prof. HEISENBERG.

[1] Die ausführlichen Rechnungen erscheinen später.

[2] W. HEISENBERG, Z. Physik 90, 209 (1934) Formel 61; 92, 692 (1934).

[3] Vgl. HEISENBERG u. PAULI, Z. Physik 56, 1 (1930); 59, 168 (1930).

stärke am Rande des Elektrons". Es gilt $\mathfrak{B} = \text{rot}\,\mathfrak{A}$, $\mathfrak{D}$ ist kanonisch konjugiert zu $\mathfrak{A}$, d. h.[1]:

$$\mathfrak{D}_i(P)\,\mathfrak{A}_k(P') - \mathfrak{A}_k(P')\,\mathfrak{D}_i(P) = \delta_{ik}\cdot\delta(P-P')\cdot\frac{2\hbar c}{i}.$$

Führt man in üblicher Weise die Größen $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{H}$ durch die Gleichungen:

$$(2)\quad \begin{cases} -\frac{1}{c}\dot{\mathfrak{A}} = \mathfrak{E}, \quad \text{d. h.:} & \frac{1}{c}\dot{\mathfrak{B}} + \text{rot}\,\mathfrak{E} = 0, \\ & -\frac{1}{c}\dot{\mathfrak{D}} + \text{rot}\,\mathfrak{H} = 0 \text{ ein,} \end{cases}$$

so folgt:

$$(3)\quad \begin{cases} \frac{\mathfrak{E}}{4\pi} = \frac{\partial\,\mathfrak{U}}{\partial\,\mathfrak{D}} = \frac{\mathfrak{D}}{4\pi} - \frac{1}{360\,\pi^2}\cdot\frac{\hbar c}{e^3}\cdot\frac{1}{E_0^3}\,[-4(\mathfrak{B}^2-\mathfrak{D}^2)\,\mathfrak{D} + 14(\mathfrak{B}\,\mathfrak{D})\mathfrak{B}] \\ \frac{\mathfrak{H}}{4\pi} = \frac{\partial\,\mathfrak{U}}{\partial\,\mathfrak{B}} = \frac{\mathfrak{B}}{4\pi} - \frac{1}{360\,\pi^2}\cdot\frac{\hbar c}{e^3}\cdot\frac{1}{E_0^3}\,[+4(\mathfrak{B}^2-\mathfrak{D}^2)\mathfrak{B} + 14(\mathfrak{B}\,\mathfrak{D})\,\mathfrak{D}]. \end{cases}$$

Der Zusammenhang zwischen den Größen $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{D}$ einerseits, $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{H}$ andererseits ist also in dieser Theorie nicht linear, denn die Streuung von Licht an Licht bedeutet eine Abweichung vom Superpositionsprinzip.

Der Zusatz zur MAXWELLschen Energie in (1):

$$(4)\qquad -\frac{1}{360\,\pi^2}\cdot\frac{\hbar c}{e^3}\cdot\frac{1}{E_0^3}\cdot\int[(\mathfrak{B}^2-\mathfrak{D}^2)^2 + 7(\mathfrak{B}\,\mathfrak{D})^2]\,dV$$

kann anschaulich als die Wechselwirkungsenergie der Lichtquanten gedeutet werden. Er ist das Analogon zur COULOMBschen Wechselwirkung der Elektronen:

$$(5)\qquad \iint\frac{\text{Dichte}_1\cdot\text{Dichte}_2}{\text{Abstand}_{12}}\,dV_1\,dV_2.$$

Der Umstand, daß in (4) im Gegensatz zu (5) nur ein einfaches Integral steht, bedeutet, daß zwei Lichtquanten nur am selben Ort wechselwirken können.

Die nichtlineare Korrektur der MAXWELL-Gleichungen des Vakuums wird wesentlich, wenn sich die Feldstärken denen „am Rande des Elektrons" nähern; die hier abgeleiteten Formeln gelten aber nur, solange sie nicht zu groß werden. ($|\mathfrak{E}|, |\mathfrak{B}|, |\mathfrak{D}|, |\mathfrak{H}| \ll E_0$).

Es ist von Interesse, diesen Zusatz, der durch die quantentheoretische Möglichkeit der Paarerzeugung zur MAXWELLschen Energie hinzukommt, mit dem von BORN[2] aus Überlegungen im Rahmen der klassischen Theorie vorgeschlagenen zu vergleichen, deren erstes Entwicklungsglied heißt:

$$\frac{-(1{,}2361)^4}{32\,\pi}\cdot\frac{1}{E_0^3}\int[(\mathfrak{B}^2-\mathfrak{D}^2)^2 + 4(\mathfrak{B}\,\mathfrak{D})^2]\,dV.$$

Abgesehen von der Tatsache, daß das Verhältnis der Koeffizienten der beiden Zusatzglieder bei BORN 1:4, bei uns 1:7 ist, unterscheiden sich die beiden Ausdrücke um den Faktor:

$$\frac{4}{45\,\pi\cdot(1{,}2361)^4}\cdot\frac{\hbar c}{e^3}.$$

Wegen des tatsächlichen Werts der SOMMERFELDschen Feinstrukturkonstanten ist der numerische Wert dieses Faktors $\sim 1{,}7$, und es ist bemerkenswert, daß die quantentheoretische Abänderung der MAXWELLschen Gleichungen jedenfalls von der Größenordnung ist, die nach klassischer Vorstellung auf Grund der Selbstenergie zu erwarten wäre.

Die aus der DIRACschen Theorie folgenden Gleichungen (1), (2), (3) gelten nur unter der Voraussetzung, daß die Wellenlängen des Lichts groß gegen die COMPTON-Wellenlänge sind. Sonst werden im Unterschied zur BORNschen Theorie höhere Glieder in der Entwicklung nach Lichtquantenenergien, also weitere Zusätze zur Wechselwirkung von der 4. Ordnung in den (mit $\frac{\hbar}{mc}$ multiplizierten) Ableitungen der Feldstärken auftreten.

Die experimentelle Prüfung der Abweichungen von der MAXWELLschen Theorie ist deshalb schwer, weil die behaupteten Effekte außerordentlich klein sind. Der Wirkungsquerschnitt für Streuung von Licht an Licht der mittleren Wellenlänge λ ist in der DIRACschen Theorie nach (1) von der Größenordnung:

$$Q \sim \left(\frac{e^2}{mc^3}\right)^4\left(\frac{\hbar}{mc}\right)^4\cdot\frac{1}{\lambda^6},$$

also etwa 10^{-30} cm² für γ-Strahlen und 10^{-70} cm² für sichtbares Licht.

[1] Siehe S. 246, 2. Spalte Fußnote [3].

[2] M. BORN, Proc. roy. Soc. Lond., M. BORN u. L. INFELD, ebenda A 143, 410 (1933); A 144, 425; A 147, 522 (1934).

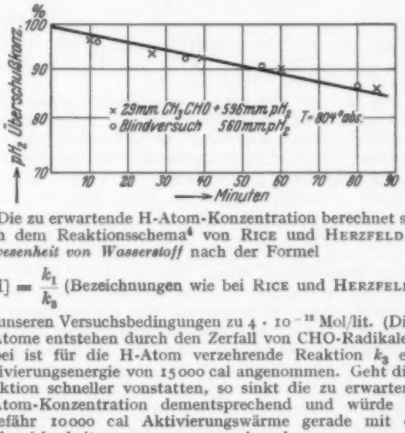
Herrn Prof. HEISENBERG möchten wir für die Aufgabenstellung, sein ständiges Interesse und seine zahlreichen Ratschläge bei der Arbeit herzlich danken.

Leipzig, Institut für theoretische Physik, den 11. Februar 1935. H. EULER. B. KOCKEL.

Der thermische Zerfall von Acetaldehyd und Propionaldehyd.

Die Frage, ob die Aldehyde beim Primärprozeß des thermischen Zerfalles Radikale bilden, die weiterhin eine Reaktionskette bewirken oder ob der Zerfall in einem Schritt in gesättigte Moleküle erfolgt, erscheint experimentell noch nicht ausreichend geklärt[1]. Zwar haben die Arbeiten von D. V. SICKMAN und A. O. ALLEN[2] und vor allem von I. A. LEERMAKERS[3] gezeigt, daß sich im Acetaldehyd in der Tat Reaktionsketten von ~ 100 Gliedern schon bei 300° bilden, wenn man durch einen Kunstgriff (die Zersetzung von Azomethan oder auf photochemischem Wege) CH_3-Radikale erzeugt. Dadurch ist zwar gezeigt, daß der Kettenmechanismus möglich ist, aber ein Beweis, ob er beim thermischen Zerfall tatsächlich stattfindet, steht noch aus.

Diese Frage läßt sich experimentell durch die Messung der stationären H-Atom-Konzentration während des Zerfalles klären, da nur bei Annahme eines Kettenmechanismus' H-Atome auftreten können. Wir haben daher durch Messung der Parawasserstoffumwandlung die H-Atom-Konzentration während des Zerfalles bestimmt. Die Figur zeigt die Versuchsresultate beim Acetaldehyd. Die geringe Umwandlung, die in gleicher Weise in Gegenwart von Acetaldehyd als auch beim Blindversuch vorhanden ist, ist der katalysierenden Wirkung der Wand auf die Parawasserstoffumwandlung zuzuschreiben. Veranschlagen wir die Genauigkeit unserer Parawasserstoffmessung mit 2 %, so lehren die Versuche, daß eine durch das Acetaldehyd bewirkte H-Atom-Konzentration kleiner als $4\cdot 10^{-10}$ Mol/lit sein muß.



Die zu erwartende H-Atom-Konzentration berechnet sich nach dem Reaktionsschema[4] von RICE und HERZFELD in *Abwesenheit von Wasserstoff* nach der Formel

$$[H] = \frac{k_1}{k_2}\ \text{(Bezeichnungen wie bei RICE und HERZFELD)}$$

bei unseren Versuchsbedingungen zu $4\cdot 10^{-12}$ Mol/lit. (Diese H-Atome entstehen durch den Zerfall von CHO-Radikalen.) Dabei ist für die H-Atom verzehrende Reaktion k_2 eine Aktivierungsenergie von 15000 cal angenommen. Geht diese Reaktion schneller vonstatten, so sinkt die zu erwartende H-Atom-Konzentration dementsprechend und würde bei ungefähr 10000 cal Aktivierungswärme gerade mit der Nachweisbarkeitsgrenze unserer Anordnung zusammenfallen. In *Gegenwart* von H_2 tritt als *zweite* H-Atom liefernde Reaktion zu der oben genannten hinzu: $CH_3 + H_2 = CH_4 + H\ (k^*)$. In diesem Falle berechnet sich die H-Atom-Konzentration entsprechend der vollständigen Formel zu

$$[H] = \frac{k_1}{k_2} + \frac{k^*[H_2]}{k_2}\sqrt{\frac{2\,k_1}{k_6[CH_3CHO]}}.$$

Um unsere Versuchsergebnisse mit dem Kettenmechanismus in Einklang zu bringen, müßten wir für die Reaktion CH_3

[1] F. O. RICE, K. F. HERZFELD, J. amer. chem. Soc. 56, 284 (1934). Ferner Proc. roy. Soc. Lond. A 146, 239 (1934) und HINSHELWOOD u. Mitarbeiter, Proc. roy. Soc. Lond. A 141, 41 (1933); A 146, 345 (1934).

[2] J. amer. chem. Soc. 56, 1251 (1934).

[3] J. amer. chem. Soc. 56, 1537 (1934).

[4] l. c. S. 288.

$+ H_2 = CH_4 + H$ eine Aktivierungswärme von mindestens 29000 cal annehmen. Dieser Wert aber ist unter allen Umständen zu hoch.

Analoge Resultate haben sich bei der Untersuchung des Propionaldehydes ergeben.

Auf Grund dieser Tatsachen halten wir es für unwahrscheinlich, daß der Zerfall des Acet- und Propionaldehydes nach der Radikalkettentheorie von RICE und HERZFELD erfolgt.

Göttingen, Institut für physikalische Chemie, den 5. März 1935. F. PATAT. H. SACHSSE.

Die verbotenen OI-Linien im Spektrum der Nova Herculis 1934.

Von der am 13. Dezember 1934 entdeckten Nova Herculis hat Herr Prof. W. MÜNCH mit dem großen Refraktor des Astrophysikalischen Observatoriums und dem Einprismenspektrographen VI seit ihrem Bekanntwerden fortlaufend Spektren aufgenommen, die er uns zur Bearbeitung in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt hat. Von der im Gange befindlichen Untersuchung dieser Spektren sei folgendes Teilergebnis, das allgemeines Interesse beansprucht, hier mitgeteilt.

Bereits auf der ersten im langwelligen Bereich mit Superpanplatte am 3. Januar 1935 gemachten Spektralaufnahme ist eine breite Emissionslinie bei λ 6302 und eine an der Grenze des Empfindlichkeitsbereiches der Platte gelegene ganz schwache Emissionslinie bei λ 6364 zu erkennen, ganz schwach ist auch bei λ 5575 eine Emissionslinie festzustellen. Die Intensität dieser drei Linien hat relativ zu den sonstigen Emissionslinien des Novaspektrums im Laufe der Monate Januar und Februar 1935 erheblich zugenommen, so daß dieselben Anfang März zu den stärksten Linien des langwelligen Bereiches gehören. Auf der kurzwelligen Seite gelegene Absorptionen, die bei den meisten übrigen Linien des Spektrums in auffälliger Weise vorhanden sind, können bei diesen drei Linien nicht festgestellt werden. Dagegen zeigen dieselben deutlich die seit Ende Februar auch bei den starken Fe^+-Linien feststellbare Verdopplung der Emissionen, die nahezu symmetrisch zu den unverschobenen Linien erfolgt und Radialgeschwindigkeiten von etwa $\pm$ 300 km/sec entspricht.

Herr Prof. GUTHNICK hatte die Liebenswürdigkeit, uns einige der mit dem Spiegelteleskop und großen Zeiss-Spektrographen der Babelsberger Sternwarte erhaltenen Spektrogramme zur Verfügung zu stellen. Auf diesen Spektren wesentlich größerer Dispersion ließen sich die Wellenlängen der betr. Linien genauer bestimmen. Nach einer am 29. Jan. 1935 aufgenommenen Platte ergaben sich für die Mitten der etwa 10 ÅE. breiten Emissionslinien die Wellenlängen λ 5576,5; 6300,0; 6362,2 ÅE. Hiernach kann wohl kein Zweifel mehr bestehen, daß es sich um die verbotenen Linien des O I-Spektrums $\nu = 2\,p^1D_2 - 2\,p^1S_0$, λ 5577,35; $\nu = 2\,p^3P_2 - 2\,p^1D_2$, λ 6300,23 und $\nu = 2\,p\ ^3P_1 - 2\,p^1D_2$ λ 6363,88, d. h. also um die grüne Nordlichtlinie und die auch im Nordlicht von VEGARD beobachteten roten Linien handelt[1].

Das Auftreten dieser Linien im Spektrum der Nova Herculis kann an sich nicht als etwas Außergewöhnliches bezeichnet werden, denn auch in anderen neuen Sternen sind sowohl die roten Linien wie auch die grüne Nordlichtlinie beobachtet worden. Bemerkenswert ist indessen das sehr frühe Auftreten dieser Linien und die große Intensität insbesondere der grünen Nordlichtlinie.

Potsdam, Astrophysikalisches Observatorium, den 9. März 1935. W. GROTRIAN. W. RAMBAUSKE.

[1] *Anmerk. b. d. Korr.* Inzwischen ist das Auftreten der verbotenen OI-Linien auch von R. H. STOY und A. B. WYSE, P. A. SP. 47, 61 (1935), sowie von A. BEER und F. J. M. STRATTON, Nature 135, 346 (1935), mitgeteilt worden.

Besprechungen.

BIGGS, H. F., **The electromagnetic Field.** Oxford: Clarendon Press 1934. VIII, 158 S. und 38 Abb. 14 cm × 22 cm. Preis 10/6 sh.

Die für den Studenten bestimmte Darstellung des elektromagnetischen Feldes erhält ihre besondere Note durch eine starke Betonung des induktiven Gesichtspunktes. Der Verf. gibt im Vorwort als ein Hauptziel an, die endgültige, geschlossene Theorie durch einzelne Schritte aufzubauen, welche stets plausibel sind, auch wenn sie sich später als nur näherungsweise richtig erweisen. Die mit diesem Vorgehen verbundenen, dem Verf. natürlich bewußten, Gefahren bestehen insbesondere darin, daß sich beim Leser Auffassungen festsetzen, welche nachher einem klaren Verständnis im Wege stehen. In diesem Sinne bedenklich sind die Ausführungen des § 17 über die durch ein bewegtes elektrisches oder magnetisches Feld erzeugten Feldstärken. Offenbar kann eine Bewegung in eindeutiger Weise nur der Materie (Ladungen und Magneten) zugeschrieben werden; daher erscheint es an dieser Stelle bedenklich, wenn z. B. die Gleichung $\mathfrak{H} = \left[\frac{\mathfrak{v}}{c}\,\mathfrak{E}\right]$ ($\mathfrak{E}$ = elektrostatische Feldstärke der mit der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ bewegten Ladung) auf die Lichtwelle in dem Sinne angewandt wird, daß man $|\mathfrak{v}| = c$ setzt. Von derartigen, mehr auf das didaktische bezüglichen Bedenken abgesehen, gibt das Buch eine durchaus erfreuliche und frische Einführung in die Theorie des elektromagnetischen Feldes, allerdings im wesentlichen in Beschränkung auf das Feld im Vakuum. Nur der eine Paragraph (§ 24), welcher dem Feld in Isolatoren und in Eisen gewidmet ist, muß wegen einiger grober Mißverständnisse als mißlungen bezeichnet werden. So ist die ablehnende Kritik an der üblichen Ableitung des „wirksamen Feldes" $\mathfrak{F} = \mathfrak{E} + \frac{4\pi}{3}\mathfrak{P}$ (S. 42) nur dadurch entstanden, daß der Verf. die Einwirkung der dem hervorgehobenen Molekül unmittelbar benachbarten Dipole außer acht läßt. Desgleichen ist die in Fig. 22 angedeutete Erklärung für das Auftreten von $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ in den beiden Umlaufrelationen nicht richtig. Es ist nämlich z. B. nicht einzusehen, weshalb man die Bezugsfläche zur Berechnung von $\mathfrak{B}$ gerade in die Lücke zwischen 2 Molekülschichten legen soll. Wenn man aber darauf verzichtet, so bricht die ganze dort gegebene Erklärung in sich zusammen. R. BECKER, Berlin.

WHITE, F. W. G., **Electromagnetic Waves.** London: Methuan and Co. 1934. VIII, 108 S. und 26 Abb. 11 cm × 17 cm. Preis 3 sh.

Die ersten 5 Kapitel des vorliegenden Büchleins geben eine übersichtliche und zur Einführung vorzüglich geeignete Darstellung der klassischen Theorie der elektromagnetischen Wellen. Der Aufbau ist im wesentlichen der übliche: Elektromagnetische Grundgleichungen, MAXWELLsche Gleichungen, Theorie von LORENTZ, Dispersion, Einfluß eines überlagerten Magnetfeldes auf die Wellen in einem dispergierenden Medium. Seine besondere Note erhält das Buch durch das sechste Kapitel, in welchem die Ausbreitung der elektrischen Wellen in den oberen Schichten der Erdatmosphäre behandelt wird. Dieses Kapital ist offenbar das Ziel und die Krönung des ganzen Werkes. Für den mit diesem speziellen Forschungsgebiet nicht vertrauten Leser ist diese Darstellung der in den letzten Jahren gewonnenen experimentellen und theoretischen Ergebnisse von ganz besonderem Reiz. Sie liefert ein treffliches Beispiel für die wechselseitige Belebung von technischen und theoretischen Arbeitsmethoden, als deren zwiefache Frucht wir eine vertiefte Einsicht in die Beschaffenheit der oberen Erdatmosphäre und eine vergrößerte Sicherheit in der Technik der Kurzwellentelegraphie entstehen sehen. R. BECKER, Berlin.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. Dr. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.